

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. Бекетова**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

для виконання лабораторних робіт  
з навчальних дисциплін

**ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ (ЗАГАЛЬНИЙ КУРС),  
ГЕОДЕЗІЯ**

*(для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.060101 – Будівництво, напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) та для студентів 2 курсу денної і 3 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій)*



Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з навчальних дисциплін «Інженерна геодезія (загальний курс)», «Геодезія» (для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.060101 – Будівництво, напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) та для студентів 2 курсу денної і 3 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова; уклад.: В. О. Пеньков. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 45 с.

Укладач: канд. техн. наук, доц. В. О. Пеньков

Рецензент: В. Д. Шипулін, канд. техн. наук, професор Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова.

*Рекомендовано кафедрою геоінформаційних систем та геодезії,  
протокол №1 від 31 серпня 2012 р.*

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА .....	4
1 ІНЖЕНЕРНО – ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА .....	5
1.1 Організація інженерно-геодезичних розмічувальних робіт .....	5
2 ЕЛЕМЕНТИ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОЗМІЧУВАЛЬНИХ РОБІТ .....	5
2.1 Елементи геодезичних розмічувальних робіт в плані .....	5
2.1.1 Побудова горизонтального проектного кута .....	6
2.1.2 Побудова лінії заданої довжини .....	7
2.2 Елементи геодезичних розмічувальних робіт по висоті .....	8
2.2.1 Побудова точок з проектною висотою .....	8
3 ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РОЗМІЧУВАННЯ В ПЛАНІ .....	14
3.1 Підготовка геодезичних розмічувальних робіт в плані .....	14
3.1.1 Пряма і зворотна геодезичні задачі .....	14
3.2 Методи геодезичних розмічувальних робіт в плані .....	17
3.2.1 Метод полярних координат .....	17
3.2.2 Метод прямокутних координат .....	18
3.2.3 Розмічування споруди з аналітичною підготовкою проекту .....	18
3.2.4 Розмічування споруди способом полярних координат .....	23
3.2.5 Розмічування споруди способом прямокутних координат .....	25
3.3 Розрахунок необхідної точності побудови фізичних величин .....	27
3.4 Розмічування заокруглень в плані .....	29
3.4.1 Розрахунок елементів кругової кривої .....	29
3.5 Способи розмічування осей криволінійних споруд .....	31
3.5.1 Детальне розмічування кругової кривої способом прямокутних координат .....	31
4 ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РОЗМІЧУВАННЯ ЗА ВИСОТОЮ .....	33
4.1 Геометричне нівелювання по заданому напрямку і побудова профілю земної поверхні .....	33
4.2 Побудова лінії заданого ухилу .....	35
4.3 Нівелювання поверхні по квадратах та побудова плану .....	37
4.3.1 Нівелювання поверхні по квадратах з однієї станції .....	37
4.3.2 Нівелювання поверхні по квадратах з декількох станцій .....	40
5 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ .....	43
СПИСОК ДЖЕРЕЛ .....	44

## ПЕРЕДМОВА

Дисципліни «Інженерна геодезія (загальний курс)» та «Геодезія», належать до нормативних дисциплін напрямів підготовки 6.060101 – Будівництво, 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) та 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій).

Зміст методичних вказівок відповідає змістовному модулю № 2 «Геодезичні роботи» дисципліни «інженерна геодезія (загальний курс)» для напрямів підготовки 6.060101, 6.060103 та модулю №4 дисципліни «Геодезія» для напряму підготовки 6.080101

Інженерна геодезія вивчає методи геодезичних робіт, виконуваних при вишукуванні, проектуванні, будівництві і експлуатації різних будівель і споруд, а також раціональному використанні і охороні природних ресурсів.

У сучасній інженерній геодезії знаходять застосування новітні вимірювальні засоби, використовують останні досягнення у фізиці, механіці, електроніці, оптиці, обчислювальній техніці.

Геодезичне забезпечення будівництва і експлуатації сучасних інженерних споруд пов'язане з необхідністю виконання точних вимірювань, для визначення координат і висот геодезичних пунктів, складання топографічних карт і планів, подовжніх профілів трас; спостереження за деформаціями споруд.

Для забезпечення необхідної точності, вимірювання виконуються точними геодезичними приладами.

В методичних вказівках до занять з дисципліни «інженерна геодезія» представлені задачі, в яких встановлюється та визначається просторове положення споруд для різних категорій.

При вирішенні задач, наведених у даних методичних вказівках, необхідно відповідними нормами геодезичних вимірювань, довідковою літературою.

Наведені у вказівках методичні матеріали можуть бути використані для проведення лабораторних і практичних робіт та на початковій геодезичній практиці. Крім того задачі можуть бути використані при виконанні курсового та дипломного проектування, а також при виконанні розрахунково-графічних і контрольних робіт.

# 1 ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА

## 1.1 Організація інженерно-геодезичних розмічувальних робіт

*Інженерно-геодезичне проектування* – це комплекс робіт, що проводиться з метою отримання необхідних даних, для розміщення споруди в плані і по висоті, тобто по горизонтальному і вертикальному плануванню будівельного майданчика.

Інженерно-геодезичне проектування включає:

- 1) розміщення об'єкту будівництва на площині і по висоті;
- 2) орієнтування основних осей споруди;
- 3) проектування рельєфу;
- 4) обчислення об'ємів земляних робіт;
- 5) виконання розрахунків, пов'язаних з проектуванням споруд лінійного типу;
- 6) виконання розрахунків, необхідних для перенесення проекту в натуру;
- 7) складання розмічувальних креслень, схем і т.д.

Сукупність геодезичних робіт на місцевості по перенесенню проекту споруди в натуру називають *розмічуванням*. За своїм змістом і методам розмічувальні роботи протилежні знімальним і точніше за них. Задана точність розмічування звичайно досягається наближеннями.

Геодезичні розмічувальні роботи виконуються на всіх етапах будівельних робіт аж до їх завершення. Ці роботи полягають у винесенні на місцевість проекту будинку чи споруди, встановленні у проектне положення елементів конструкцій, винесенні інженерних комунікацій, проекту вертикального планування території та ін.

Геодезичні розмічувальні роботи виконуються як і геодезичні вимірювання – від загального до часткового. але при розмічувальних роботах точність наступних етапів підвищується.

## 2 ГЕОДЕЗИЧНІ РОЗМІЧУВАЛЬНІ РОБОТИ В ПЛАНІ

### 2.1 Елементи геодезичних розмічувальних робіт в плані

Винесення проекту на місцевість полягає у побудові на місцевості характерних точок осей споруди. Для цього будують проектні кути, відкладають відстані та виносять проектні перевищення (висоти).

*Елементами геодезичних робіт* називаються геодезичні роботи, пов'язані з розмічуванням на місцевості кутів, ліній і перевищень.

*Методами* геодезичних розмічувальних робіт є цілеспрямована впорядкована сукупність із декількох елементів геодезичних робіт.

Їх застосовують для приведення у проектне просторове положення характерних точок споруд.

При виконанні розмічувальних робіт, інженер-будівник повинен уміти виносити на місцевість обчислені значення відрізків прямих, горизонтальні кути, проектні висоти точок, задавати лінії і площини з проектним ухилом, переносити на дно котловану і монтажні горизонти осі споруди і висоти.

Похідні дані: Місцеположення вершини кута А ; напрям однієї зі сторін (АВ); проектне значення кута  $\beta_n$  ; (рис. 1).

- Встановлюють в точці А теодоліт і приводять його в робоче положення.
- При крузі право (КП) візують зорову трубу на точку В і беруть відлік по горизонтальному колу  $b$ .
- Обчислюють відлік на точку С при побудові кута  $\beta_n$  при КП:

- Рисунок 1 – Побудова проектного кута

Средня квадратична похибка побудови в натур проектного горизонтального кута:

де  $m_{\text{в}}$ ,  $m_0$ ,  $m_{\text{ц}}$ ,  $m_{\text{ф}}$  – середні квадратичні похибки візування, відліку по горизонтальним кругом, центрування теодоліта, фіксування точки.

6

Обчислюють  $\Delta\beta = \beta_o - \beta_{to}$ .

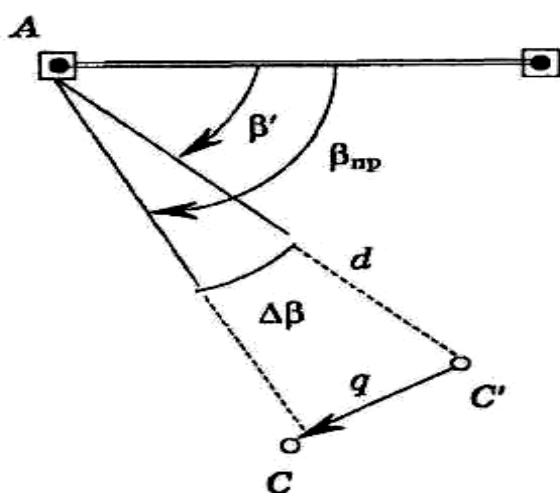


Рисунок 2 – Побудова кута з підвищеною точністю редукуванням

Вимірюють відстань  $AC_0$  і обчислюють лінійну поправку

$$CC_0 = \Delta l;$$

$$\Delta l = l\Delta\beta/\rho$$

За перпендикуляром від лінії  $AC_0$  точку  $C$  переміщують на величину  $\Delta l$  у відповідний бік і визначають остаточний напрям  $AC$ .

Точку  $C$  фіксують кілком.

При побудові проектного кута способом редукування його середня квадратична похибка:

$$m_{\beta i} = \sqrt{m_{\beta}^2 + m_{\Delta\beta}^2},$$

де похибка побудови кута:

$$m_{\beta} = \sqrt{(m_{\Gamma}^2 + m_0^2)n + m_u^2 + m_p^2},$$

похибка поправки  $\Delta\beta$ :  $m_{\Delta\beta} = m_l \rho / l$ , похибка відкладання відрізка –  $m_i$ .

### 2.1.2 Побудова лінії заданої довжини

Лінію заданої довжини можна побудувати способом редукування. При цьому враховують, що довжина проектної лінії задається в горизонтальній проекції. Тому при побудові на місцевості, у значення довжини треба вводити поправку на ухил місцевості.

*Похідні дані:* Місцезаположення початкової точки лінії, напрям та проектне значення довжини (рис. 3).

*Порядок виконання роботи*

- від початкової точки  $A$  в заданому напрямі  $AB$  за допомогою рулетки відкладають *наближене* значення проектної відстані  $D_n$  і тимчасово фіксують кілком точку  $B_1$ ;
- теодолітом вимірюють кут нахилу між точками  $A$  та  $B_1$  і обчислюють перевищення  $h$ . Вимірюють температуру стрічки  $t_{\sigma}$ ;
- обчислюють поправки до відкладеної на місцевості відстані: за компарування лінії, за температуру стрічки, за ухил лінії:

$$\Delta D_h = h^2 / 2D.$$

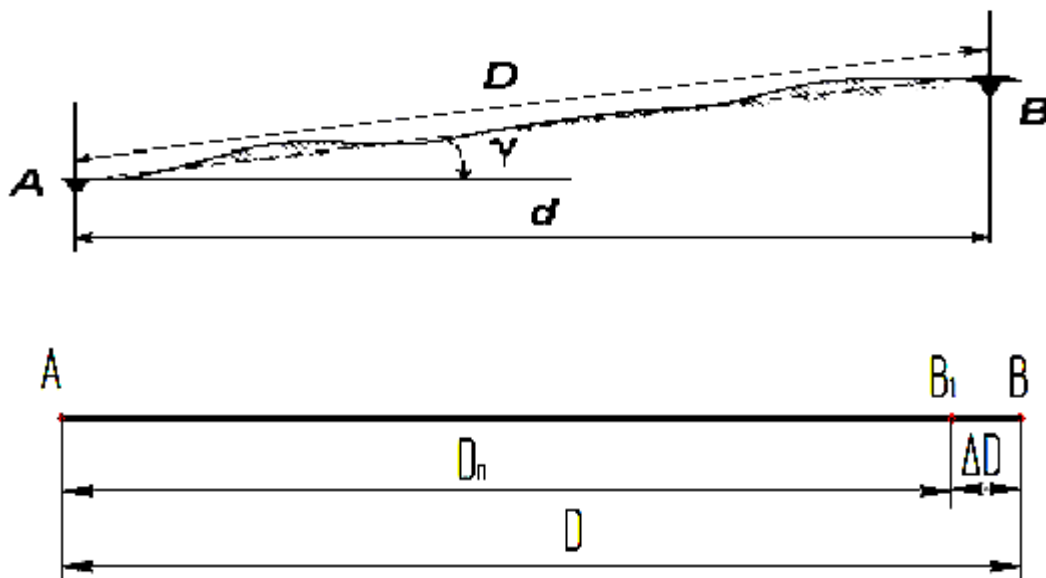


Рисунок 3 – Побудова лінії заданої довжини

При кутах нахилу менше  $1^\circ$ , а точність побудови лінії заданої довжини не перевищує  $1 : 2000$ , то поправку за ухил не враховують.

Сумарну поправку з протилежним знаком вводять у відстань  $AB_1$  – точку  $B_1$  зміщують на величину сумарної поправки і фіксують кілком точку  $B$ .

Середня квадратична похибка побудови в на натурі лінії заданої довжини:

$$m_\rho = \sqrt{(m_k^2 + m_c^2)D^2/l^2 + (m_t^2 + m_H^2 + m_h^2 + m_\phi^2)D/l}, \text{ мм}$$

де  $m_k$   $m_c$   $m_t$   $m_h$   $m_h$  – похибки за компарування, за укладання мірного приладу в створ, відхилення кінця мірного приладу від створу, за температуру мірної стрічки, за натяг та за на ухил стрічки мм.

## 2.2 Елементи геодезичних розмічувальних робіт по висоті

### 2.2.1 Побудова точок з проектною висотою

При вертикальному плануванні, розробці котлованів та траншей, будівництві фундаментів споруд та трубопроводів, при встановленні колон і монтажі технологічного обладнання потрібно визначати на місцевості положення точок з проектною висотою. Проектні висоти переносять в натуру геометричним нівелюванням

Похідні дані: планове положення точки на місцевості та її проектна висота  $H_n$ , місцеположення репера і його висота  $H_R$  (рис. 4)



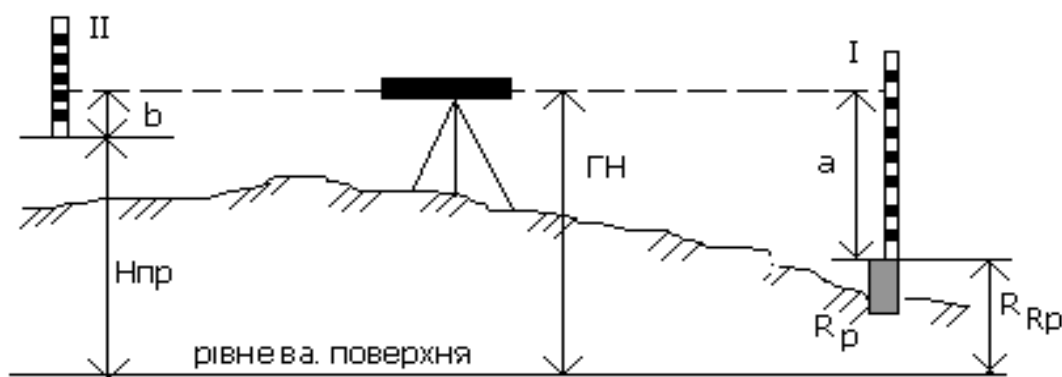


Рисунок 4 – Перенесення на натуру проектної висоти

### Порядок виконання роботи

- нівелір встановлюють посередині між репером та місцем перенесення проектної висоти.
- беруть відлік  $a$  по рейці, встановленій на репері, і обчислюють горизонт приладу:

$$ГП = H_R + a. \quad (2)$$

- обчислюють по рейці відлік  $b$ , мм, при якому задана точка буде знаходитись на проектній висоті:

$$b = ГП - H_П. \quad (3)$$

- Встановлюють рейку в шуканій точці і міняють положення її по вертикалі таким чином, щоб відлік по рейці дорівнював обчисленому значенню  $b$ . Місцеположення нижньої точки рейки буде відповідати проектному положенню шуканої точки.

Рейку, в усіх випадках, необхідно ставити п'яткою з нуля на задану точку і на репер.

Середня квадратична похибка (СКП) перенесення на натуру проектної позначки точки, мм:

$$m_n = \sqrt{m_{R_p}^2 + m_a^2 + m_b^2 + m_i^2 + m_\phi^2}, \quad (4)$$

де  $m_{R_p}$  – СКП висоти репера - 0,1 мм;

$m_a, m_b$  – СКП відліків і на репері та проектній точці;

$m_i$  – СКП перевищення, обумовлена непаралельністю візирної осі зорової труби нівеліра та осі циліндричного рівня;

$m_\phi$  – СКП фіксування проектної позначки кілком – 2 мм.

Середні квадратичні похибки відліків по рейках, мм:

$$m_a = m_b = \sqrt{m_p^2 + m_{в.д.}^2 + m_n^2 + m_i^2 + m_{з.с.}^2}, \quad (5)$$

де  $m_p, m_{в.д.}, m_n, m_{з.с.}$  – середні квадратичні похибки відліків, мм,

відповідно, через неточне встановлення контактного рівня в нуль-пункті, неточне визначення частки поділки рейки, через похибки нанесення поділок рейки та вплив зовнішнього середовища:

**Варіант1.** Визначити на місцевості положення проектної висоти точки. Висотні положення *репера* та *проектної* точки нижче від горизонту приладу ( $H_R < ГП < H_n$ );

Відомі планове положення точки на місцевості та її проектна висота  $H_n = 242.110$ , а також місцеположення і висота репера  $H_R = 240.909$

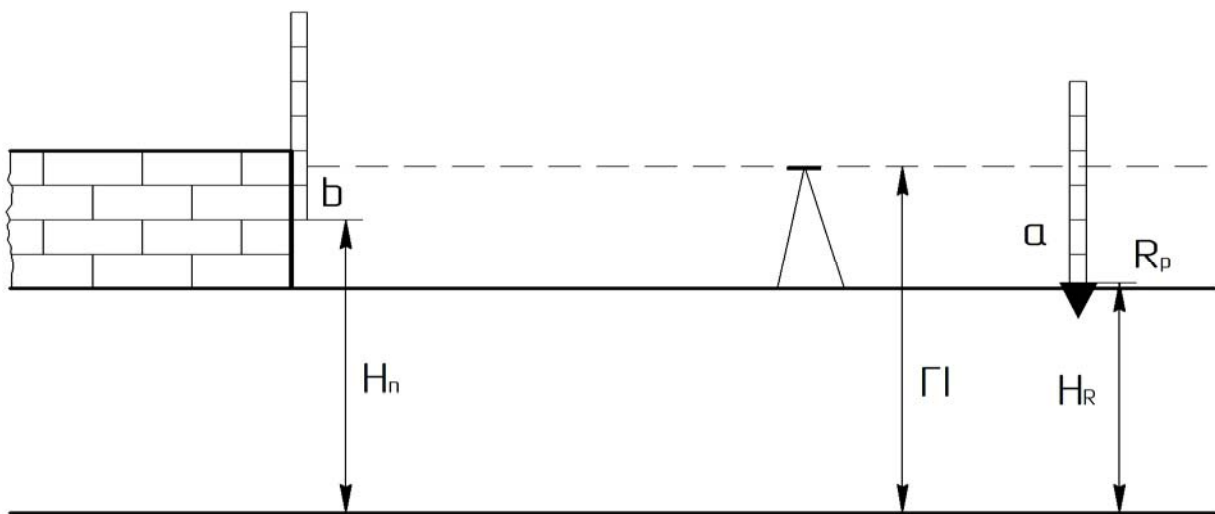


Рисунок 5 – Перенесення на натуру проектної висоти. Варіант 1

#### Порядок виконання роботи

Проектні позначки переносять на натуру геометричним нівелюванням:

- нівелір встановлюють посередині між репером та місцем перенесення проектної позначки.
- беруть відлік  $a = 1083$  (6765) по рейці, встановленій на репері, і обчислюють горизонт приладу, м:

$$ГП = H_R + a = 240.909 + 1083 = 241,992 \quad (6)$$

- обчислюють по рейці відлік  $b$ , мм, при якому задана точка розміщена на проектній позначці:

$$b = ГП - H_n = 241.992 - 242.110 = 0.118 \quad (7)$$

- встановлюють рейку в шуканій точці і міняють положення її по вертикалі таким чином, щоб відлік по рейці дорівнював обчисленому значенню  $b$ . Місцеположення нижньої точки рейки буде відповідати проектному положенню шуканої точки.

Рейку необхідно ставити п'яткою з нуля на задану точку і на репер.

**Варіант 2.** Визначити на місцевості положення проектної висоти точки. Репер нижче, а шукана точка вище від горизонту приладу ( $H_R < ГП < H$ )  
Відомі планове положення точки на місцевості та її проектна висота  $H_n = 239,870$ , а також місцеположення і висота репера  $H_R = 239,947$

### *Порядок виконання роботи*

Проектні позначки переносять на натуру геометричним нівелюванням.

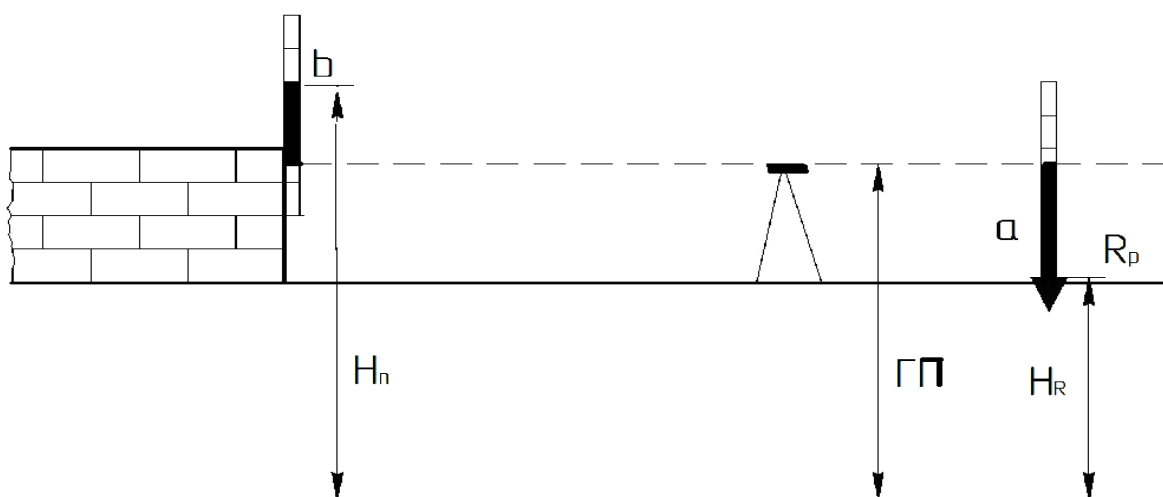


Рисунок 6 – Перенесення на натуру проектної висоти. Варіант 2

- нівелір встановлюють посередині між репером та місцем перенесення проектної позначки.

- беруть відлік  $a = 1974$  (6757) по рейці, встановленій на репері, і обчислюють горизонт приладу, м:

$$ГП = H_R + a = 239.947 + 1974 = 241,444 \quad (8)$$

- обчислюють по рейці відлік  $b$ , мм, при якому задана точка розміщена на проектній позначці:

$$b = ГП - H_n = 241.444 - 239.870 = 1574 \quad (9)$$

- встановлюють рейку в шуканій точці і міняють положення її по вертикалі таким чином, щоб відлік по рейці дорівнював обчисленому значенню  $b$ .

- місцеположення нижньої точки рейки буде відповідати проектному положенню шуканої точки.

$$b = H_n - ГП = 239.870 - 241,444 = 1574. \quad (10)$$

Рейку необхідно ставити п'яткою з нуля на задану точку і на репер.

**Варіант 3.** Визначити на місцевості положення проектної висоти точки. Репер та шукана точка розміщені вище від горизонту приладу ( $H_R > ГП < H_n$ ), Відомі планове положення точки на місцевості та її проектна висота  $H_n = 236,950$ , а також місцеположення і висота репера  $H_R = 237,261$ . Проектні позначки переносять на натуру геометричним нівелюванням.

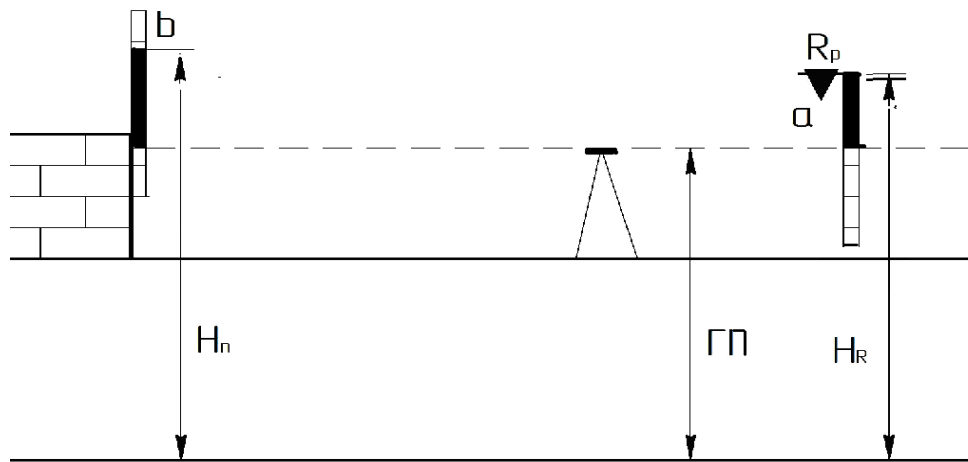


Рисунок 7 – Перенесення на натуру проектної висоти. Варіант 3

#### *Порядок виконання роботи*

- нівелір встановлюють посередині між репером та місцем перенесення проектної позначки.
- беруть відлік  $a = 1473$  по рейці, встановленій на репері, і обчислюють горизонт приладу, м:

$$ГП = H_R - a = 237,261 - 1473 = 235,788 \quad (11)$$

- обчислюють по рейці відлік  $b$ , мм, при якому задана точка розміщена на проектній позначці:

$$b = ГП - H_n = 235,788 - 236,950 = 1162 \quad (12)$$

- встановлюють рейку в шуканій точці і міняють положення її по вертикалі таким чином, щоб відлік по рейці дорівнював обчисленому значенню  $b$ . Місцеположення нижньої точки рейки буде відповідати проектному положенню шуканої точки.

Рейку необхідно ставити п'яткою з нуля на задану точку і на репер.

**Варіант 4.** Визначити на місцевості положення проектної висоти точки.

Репер розміщений вище від горизонту приладу, а шукана точка нижче ( $H_R > ГП > H_n$ ). Відомі планове положення точки на місцевості та її проектна

висота  $H_n = 237,890$ , а також місцеположення і висота репера  $H_R = 238,950$ . Проектні позначки переносять на натуру геометричним нівелюванням.

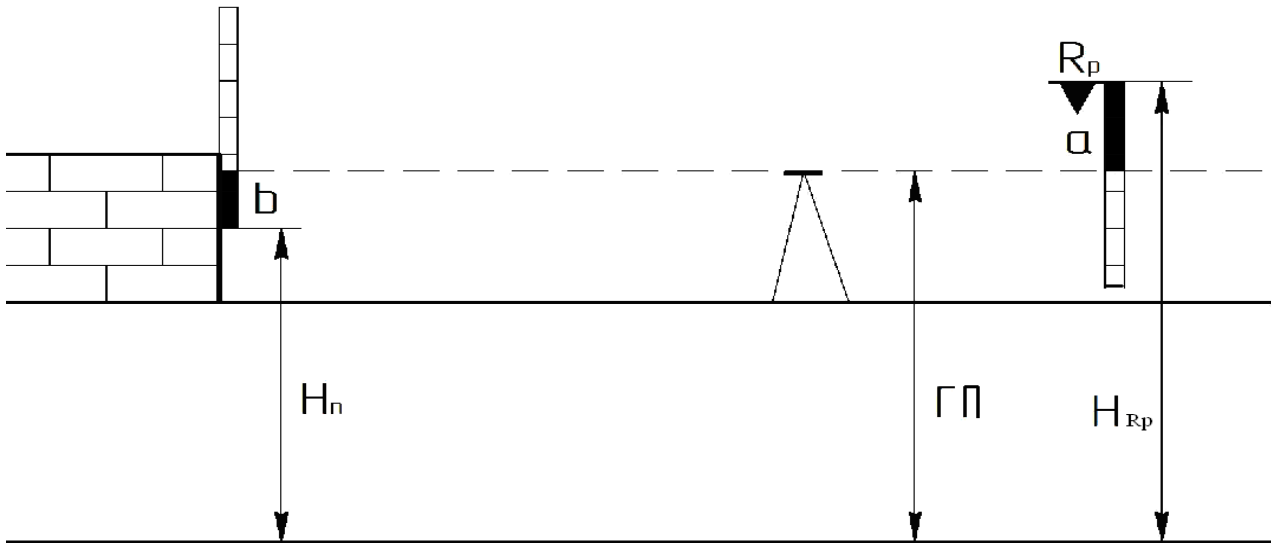


Рисунок 8 – Перенесення на натуру проектної висоти Варіант 4

### Порядок виконання роботи

1. Нівелір встановлюють посередині між репером та місцем перенесення проектної позначки.
2. Беруть відлік  $a = 0643$  по рейці, встановленій на репері, і обчислюють горизонт приладу, м:

$$\Gamma\P = H_R - a = 238,950 - 0643 = 238,307 \quad (13)$$

3. Обчислюють по рейці відлік  $b$ , мм, при якому задана точка розміщена на проектній позначці:

$$b = \Gamma\P - H_n = 238,307 - 237,890 = 0417 \quad (14)$$

4. Встановлюють рейку в шуканій точці і міняють положення її по вертикалі таким чином, щоб відлік по рейці дорівнював обчисленому значенню  $b$ . Місцеположення нижньої точки рейки буде відповідати проектному положенню шуканої точки.

Рейку необхідно ставити п'яткою з нуля на задану точку і на репер.

### 3 ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РОЗМІЧУВАННЯ В ПЛАНІ

#### 3.1 Підготовка геодезичних розмічувальних робіт в плані

Розмічування споруд – дуже відповідальна робота в будівництві, тому його виконують у два етапи:

- спочатку визначають положення головних осей. Це осі симетрії будівлі або споруди, або основні осі, що утворюють контур будівлі або споруди;
- від головних осей здійснюють детальне розмічування головних додаткових і допоміжних осей, конструктивних елементів та ін.

Осі будівель і споруд розмічують на місцевості від головної розмічувальної основи, якою можуть бути: існуючі місцеві об'єкти, пункти планової геодезичної мережі або пункти спеціальної мережі (будівельна сітка, лінії регулювання забудови). Перенесенню проекту в натуру передують його геодезична підготовка, в процесі якої за заданим або визначеними графічно координатами характерних точок споруди обчислюються розмічувальні елементи, тобто дирекційні кути і відстані, що визначають положення цих точок відносно пунктів геодезичної розмічувальної основи. Вихідні дані визначають залежно від прийнятої розмічувальної основи і прийнятого способу перенесення проекту.

При підготовці геодезичних даних для перенесення проекту в натуру застосовуються три способи: графічний, графоаналітичний (змішаний) та аналітичний.

*При графічному способі:* вимірюють на плані відстані за допомогою циркуля і графічного масштабу, а кути за допомогою транспортира.

*При графоаналітичному способі* графічно визначають координати точки, яка виноситься; виписують з відомості координати пункту розмічувальної основи, знайдені раніше аналітично; обчислюють за координатами значення кутів і відстаней.

##### 3.1.1 Прямі і зворотні геодезичні задачі

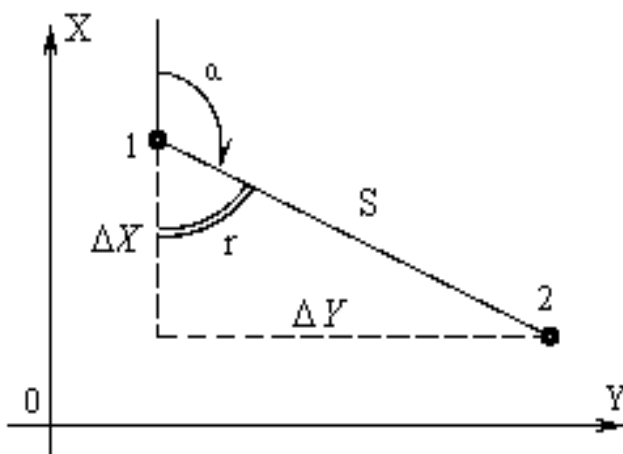


Рисунок 9 – Схема до геодезичних задач

В основі всіх методів розмічувальних робіт лежить вирішення прямої, або зворотної геодезичної задачі та їх комбінацій

*Пряма геодезична задача*

Початкові дані : координати першого пункту  $x_1, y_1$ , , дирекційний кут  $\alpha_{1-2}$  лінії 1-2 і довжина  $S_{1-2}$  лінії 1-2, яка сполучає початковий 1 і визначуваний 2 пункти.

Визначувані величини: координати  $X_2, Y_2$ , другого пункту.

Рішення прямої геодезичної задачі

Координати другої точки визначають за формулами (15)

$$\begin{aligned} X_2 &= X_1 + S \cdot \cos \alpha, \\ Y_2 &= Y_1 + S \cdot \sin \alpha. \end{aligned} \quad (15)$$

Зворотна геодезична задача (рис. 9).

Початкові дані: два пункти з відомими координатами  $X_1, Y_1$  і  $X_2, Y_2$

Визначувані величини: дирекційний кут  $\alpha$  і довжина лінії  $S$ , що сполучає точки 1 і 2.

Рішення зворотної геодезичної задачі

Рішення зворотної геодезичної задачі має декілька варіантів, воно складніше, що пов'язане з особливостями використання тригонометричних функцій.

Варіант 1

Якщо  $\Delta X \neq 0$  і  $\Delta Y \neq 0$ , то трикутник розв'язується по формулах:

$$\begin{aligned} S &= \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2} \\ tgr &= \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|; \quad \text{і} \quad r = \arctg \left| \frac{\Delta Y}{\Delta X} \right|. \end{aligned}$$

Порядок визначення дирекційного кута лінії:

- по знаках приростів координат  $\Delta X, \Delta Y$  визначити номер чверті;
- по формулах зв'язку дирекційних кутів і румбів відповідно до номера чверті обчислити дирекційний кут.

Контролем правильності обчислень є виконання умов:

$$\frac{\Delta X}{\cos \alpha} = \frac{\Delta Y}{\sin \alpha} = S.$$

Якщо  $\Delta X = 0$ , то  $S = |\Delta Y|$ ,  $\alpha = 90^\circ$  при  $\Delta Y > 0$ ;  $\alpha = 270^\circ$  при  $\Delta Y < 0$ .

Якщо  $\Delta Y = 0$ , то  $S = |\Delta X|$ ,  $\alpha = 0^\circ$  при  $\Delta X > 0$ ;  $\alpha = 180^\circ$  при  $\Delta X < 0$ .

Варіант 2

Використовується алгоритм, що виключає можливе ділення на нуль: при

$$\Delta X = 0 : \quad S = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}, \quad r = \arccos \left( \frac{\Delta X}{S} \right).$$

Якщо  $\Delta Y \geq 0$ , то  $\alpha = r$ ; якщо  $\Delta Y < 0$ , то  $\alpha = 360^\circ - r$ .

## Вирішення зворотних геодезических задач

### Задача 1

Дано:  $X_A = 358.00$ ;  $Y_A = 649.00$ ;  $X_2 = 343.77$ ;  $Y_2 = 648.71$

Визначити  $d_{2-A}$ ,  $\alpha_{2-A}$

Рішення

$$\Delta x = 358.00 - 343.77 = +14.23;$$

$$\Delta y = 343.77 - 648.71 = +0.29;$$

$$d = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} = 14.23$$

$$r = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} = 1^\circ 10'$$

Знаки приростів координат:  $+\Delta x$ ;  $+\Delta y$

Напрямок відповідає 1-й чверті  $\alpha_1 = r$   
 $\alpha_{2-A} = r = 1^\circ 10'$

### Задача 2

Дано:  $X_B = 282.00$ ;  $Y_B = 712.00$ ;  $X_1 = 305.04$ ;  $Y_1 = 706.05$

Визначити  $d_{1-B}$ ,  $\alpha_{1-B}$

Рішення

$$\Delta x = -23.04$$

$$\Delta y = +5.95;$$

$$d_{1-B} = 23.79$$

$$r = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} = 14^\circ 29'$$

Знаки приростів координат:  $-\Delta x$ ;  $+\Delta y$

Напрямок відповідає 2-й чверті :  $\alpha_2 = 180^\circ - r$   
 $\alpha_{1-B} = 180^\circ - 14^\circ 29' = 165^\circ 31'$

### Задача 3

Дано:  $X_1 = 305.04$ ;  $Y_1 = 706.05$ ;  $X_6 = 341.15$ ;  $Y_6 = 771.16$ ;

Визначити  $d_{6-1}$ ,  $\alpha_{6-1}$

Рішення  $\Delta x_{6-1} = -36.11$  ;  $\Delta y_{6-1} = -65.11$  ;

$$d_{6-1} = 74,45 ; \quad r = \arctg \frac{\Delta y}{\Delta x} = 60^\circ 59'$$

Знаки приростів координат:  $-\Delta x$ ;  $-\Delta y$ ;

Напрямок відповідає 3-й чверті :  $\alpha_3 = 180^\circ + r$   
 $\alpha_{6-1} = 180^\circ + 60^\circ 59' = 240^\circ 59'$   
 $\alpha_{1-6} = \alpha_{6-1} - 180^\circ = 240^\circ 59' - 180^\circ = 60^\circ 59'$

### Задача 4

Визначити кут  $\beta_2$  між напрямками 1-B та 1-6

Рішення

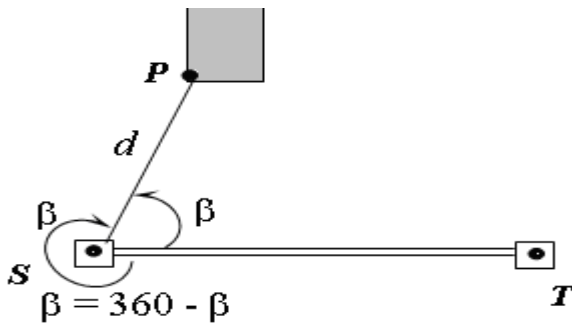
$$\beta_2 = \alpha_{1B} - \alpha_{1-6}$$
$$\beta_2 = 165^\circ 31' - 69^\circ 59' = 95^\circ 32'$$



### 3.2 Методи геодезичних розмічування споруд в плані

Положення проектних точок на місцевості знаходять шляхом розмічування – побудови фізичних величин від точок і ліній геодезичної розмічувальної основи. Аналіз взаємного розташування на плані проектних точок і точок геодезичної розмічувальної основи дозволяє вибрати раціональні способи розмічування проектних точок.

#### 3.2.1 Метод полярних координат



Метод полярних координат найбільш поширений.

Положення проектної точки  $P$  знаходять шляхом побудови полярного кута  $\beta$  в точці стояння  $S$  геодезичної основи від напрямку  $ST$  на точку орієнтування  $T$  геодезичної основи і потім – полярної відстані  $d$  (рис. 10).

Рисунок 10 – Метод полярних координат

*Розмічувальні елементи - полярні координати* обчислюють в результаті розв'язання оберненої геодезичної задачі:

- значення полярної відстані: 
$$d_{SP} = \sqrt{(x_P - x_S)^2 + (y_P - y_S)^2}; \quad (16)$$

- дирекційний кут напрямку: 
$$\alpha_{SP} = \arctg \frac{y_P - y_S}{x_P - x_S}, \quad (17)$$

- полярний кут: 
$$\beta = \alpha_{SJ} - \alpha_{ST}. \quad (18)$$

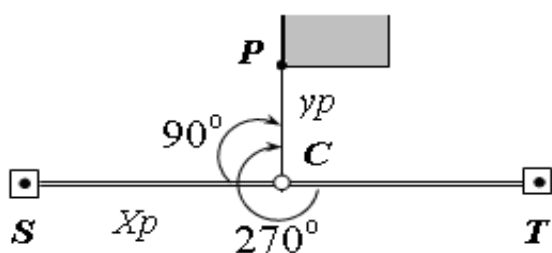
За цими формулами обчислюють також значення фізичних величин кутової і лінійної засічок.

Похибка  $m_P$  положення точки  $P$  у способі полярних координат визначається із залежності:

$$m_P = \sqrt{d^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + m_d^2}, \quad (19)$$

де  $m_\beta$  – похибка побудови кута;  $m_d$  – похибка побудови довжини;  
 $\rho$  – радіан.

### 3.2.2 Метод прямокутних координат



Метод доцільно застосувати при ординатах менших 20 м від вихідної лінії  $ST$  геодезичної сітки (рис. 11).

Розмічувальні елементи – прирости прямокутних координат обчислюють за формулами перетворення координат при переході від однієї системи до іншої: або після обчислення полярних координат за формулами:

Рисунок 11 – Метод прямокутних координат

$$\begin{aligned}\overline{x_P} &= (x_P - x_S) \cos \alpha_{ST} - (y_P - y_S) \sin \alpha_{ST}; \\ \overline{y_P} &= (x_P - x_S) \sin \alpha_{ST} + (y_P - y_S) \cos \alpha_{ST}.\end{aligned}\quad (20)$$

$$\begin{aligned}\overline{x_P} &= d_{SP} \cdot \cos \beta_{TSJ}; \\ \overline{y_P} &= d_{SP} \cdot \sin \beta_{TSJ}.\end{aligned}\quad (21)$$

Результати обчислень подають у відомості.

Похибку  $m_P$  положення точки  $P$  визначають із залежності

$$m_P = \sqrt{\left\{ \left( \frac{m_0}{\rho} \right)^2 \cdot \bar{x}^2 + m_{\frac{2}{x}}^2 \right\} + \left\{ \left( \frac{m_{90}}{\rho} \right)^2 \cdot \bar{y}^2 + m_{\frac{2}{y}}^2 \right\}} \quad (22)$$

де  $m_0, m_{90}$  – похибки побудови кутів  $0^\circ, 90^\circ$  відповідно.

### 3.2.3 Розмічування споруди з аналітичною підготовкою проекту

**Завдання 1:** Виконати розмічування споруди з аналітичною підготовкою проекту.

Вихідні дані:

Координати кутів будівлі :  $\alpha_A = 623.00$ ;  $y_A = 806.00$ ;  $\alpha_{AB} = 64^\circ 00'$

Координати пунктів геодезичної основи розмічувальної основи

$X_5 = 605.58$ ;  $Y_5 = 802.92$ ;  $X_6 = 616.49$ ;  $Y_6 = 855.85$ .  $\alpha_{5-6} = 78^\circ 21,2'$

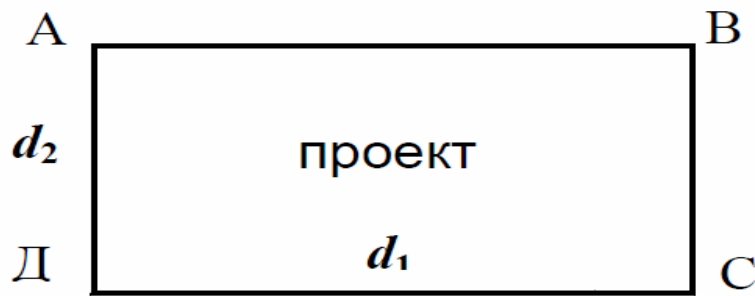


Рисунок 12 – До вихідних даних

### 1. Аналітична частина підготовки проекту:

а) за формулами прямої геодезичної задачі від точки А обчислюють проектні координати точок В, С, Д:

$$d_{A-B} = 24,00; \alpha_{A-B} = 64^{\circ}00'; \Delta x = +10.52; \Delta y = +21,57;$$

$$x_B = 633,52; y_B = 828.17; d_{B-C} = 12,00; \alpha_{B-C} = 154^{\circ}00'$$

$$\Delta x = -10.79; \Delta y = +5.26; x_C = 622.73; y_C = 833.43;$$

$$d_{C-D} = 24,00 \quad \alpha_{C-D} = 244^{\circ}00' \quad \Delta x = -10.52; \Delta y = -21,57;$$

$$x_D = 612,21; y_D = 811.86;$$

#### Контроль:

$$d_{D-A} = 12.00; \alpha_{D-A} = 334^{\circ}00'; \Delta x = +10.79; \Delta y = -5.26;$$

$$X_A = 623.00; Y_A = 806.60.$$

б) обчислюють розмічувальні елементи (горизонтальні кути і відстані).

Для винесення кутів будівлі способом полярних координат: знаходять відстані і дирекційні кути з рішення обернених геодезичних задач за координатами найближчих точок геодезичної розмічувальної основи та точок, які виносяться, а горизонтальні кути між лініями знаходять як різницю їх дирекційних кутів.

Найближчими до пунктів 5 і 6 є кути будівлі 3 і Д.

Схема розмічування показана на рисунку 13

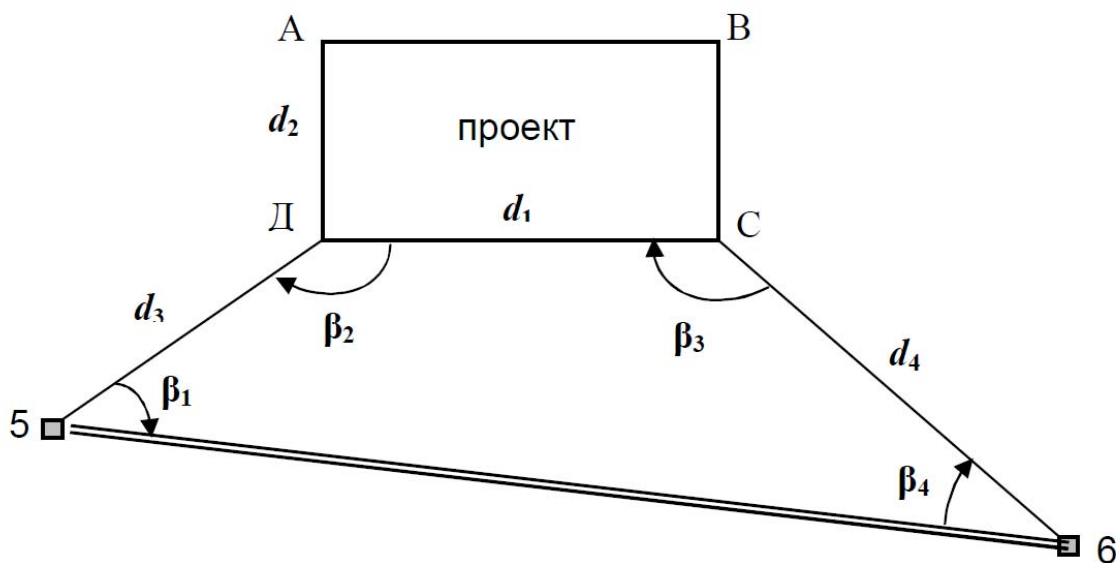


Рисунок 13 – Схема розмічування споруди

Потрібно визначити проектні значення кутів  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$  та сторін  $d_3, d_4$

Вихідні дані : координат пунктів з каталогу розмічувальної основи

$$x_5 = 605.58; y_5 = 802.92; x_6 = 616.49; y_6 = 855.85; \alpha_{5-6} = 78^\circ 21,2'$$

Вирішують зворотні геодезичні задачі по лініях **5-Д** і **6-С**:

$$x_D - x_5 = +6.63; y_D - y_5 = +8.94; d_3 = 11.13; \alpha_{5-D} = 53^\circ 26,3'$$

$$x_C - x_6 = +6.24; y_C - y_6 = -22.42; d_4 = 23,27; \alpha_{6-C} = 285^\circ 33,2'$$

Обчислюють горизонтальні кути  $\beta$  :

$$\beta_1 = 78^\circ 21,2' - 53^\circ 26,3' = 24^\circ 54,9'$$

$$\beta_2 = 233^\circ 26,3' - 64^\circ 00,0' = 169^\circ 26,3'$$

$$\beta_3 = 244^\circ 00,0' - 105^\circ 33,2' = 138^\circ 26,8'$$

$$\beta_4 = 285^\circ 33,2' - 258^\circ 21,2' = \underline{27^\circ 12,0'}$$

**Контроль:**  $\Sigma \beta = 360^\circ 00,0'$

Кути будівлі **А** і **В** виносять від лінії **С-Д**.

Розмічувальними елементами служать задана ширина будівлі і кути  $90^\circ$ .

Для контролю розмічування обчислюють довжину діагоналі будівлі:

$$A-C = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} = 26,83\text{м.}$$

Складання розмічувального креслення.

Розмічувальне креслення - це схема, на якій замість літерних позначень кутів і ліній виписують їх знайдені значення.

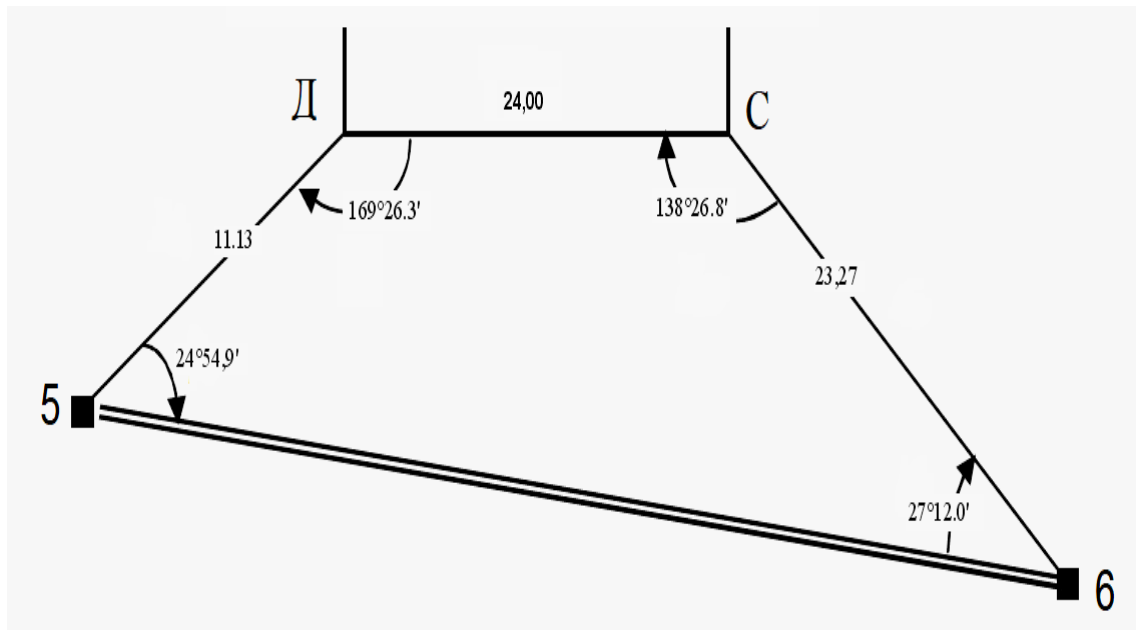


Рисунок 14 – Розмічувальне креслення

Польові роботи при плановому розмічуванні будівлі на місцевості. Планове розмічування починають від одного з пунктів розмічувальної основи. Від нього, користуючись розмічувальним кресленням, послідовно будують всі чотири кутові точки будівлі.

Послідовність робіт для рисунка 14:

- встановлюють теодоліт на пункті 6 і орієнтують лімб на пункт 5;
- поворотом аліади встановлюють на горизонтальному крузі відлік, рівний  $\beta_4$ ;
- за отриманим напрямом виставляють шпильку, відкладають відстань  $d_4$  забивають кілок, на якому фіксують точку С;
- переносять теодоліт в точку С;
- в точці С орієнтують лімб на пункт 6;

- поворотом алідади встановлюють на лімбі відлік, рівний куту  $\beta_3$ ;
- відкладають проектне відстань  $d_1$  фіксують точку Д;
- встановлюють відлік  $\beta_3 + 90^\circ$ .

- відкладають проектну відстань  $d_2$ , фіксують точку В:

- у точці Д орієнтують лімб на точку С. встановлюють на лімбі відлік  $270^\circ$ .

відкладають відстань  $d_2$  і фіксують точку А.

Контрольні дії:

- у точці Д вимірюють кут  $\beta_2$  повним прийомом і обчислюють розбіжність

$$\Delta\beta = \beta_{2\text{вим}} - \beta_{2\text{пр}}$$

- вимірюють відстань  $d_3$  і обчислюють розбіжність

$$\Delta d = d_{3\text{вим}} - d_{3\text{пр}}$$

- вимірюють діагоналі А-С і В-Д і сторону А-В.

Допуски:  $\Delta\beta \leq 2m\beta$       $\Delta d \leq 2md$

Таблиця 1 – Результати контрольних вимірювань

Величина	Виміряна	Проектна	Розбіжність
АС	26,82	26,83	- 0,01
ВД	26,85	26,83	+0,02
АВ	24,02	24,00	+0,02
$d_3$	11,14	11,13	+0,01
$\beta_2$	169°26.0'	169°26.3'	- 0°00,3' <sup>1</sup>

Різниці виміряних і проектних довжин діагоналей і сторони А-В не повинні перевищувати 3 см.

Результати контрольних вимірі показані на розмічувальному кресленні та у таблиці 1.

Точність вимірювань витримана : лінії вимірювалися рулеткою, а кути теодолітом 2Т30М одним прийомом.

### 3.2.4 Розмічування споруди способом полярних координат

**Завдання 2:** Виконати розмічування споруди способом полярних координат.

Для перенесення точок А і В будівлі на місцевість способом полярних координат (рис. 15) необхідно знайти розмічувальні кути і відстані.

Координати точок А і В визначають графічно;

Координати точки М і дирекційний кут сторони MN беруть з відомості координат теодолітного ходу.

Відстані і напрямки ліній знаходять за координатами її початкових і кінцевих точок вирішенням зворотної геодезичної задачі.

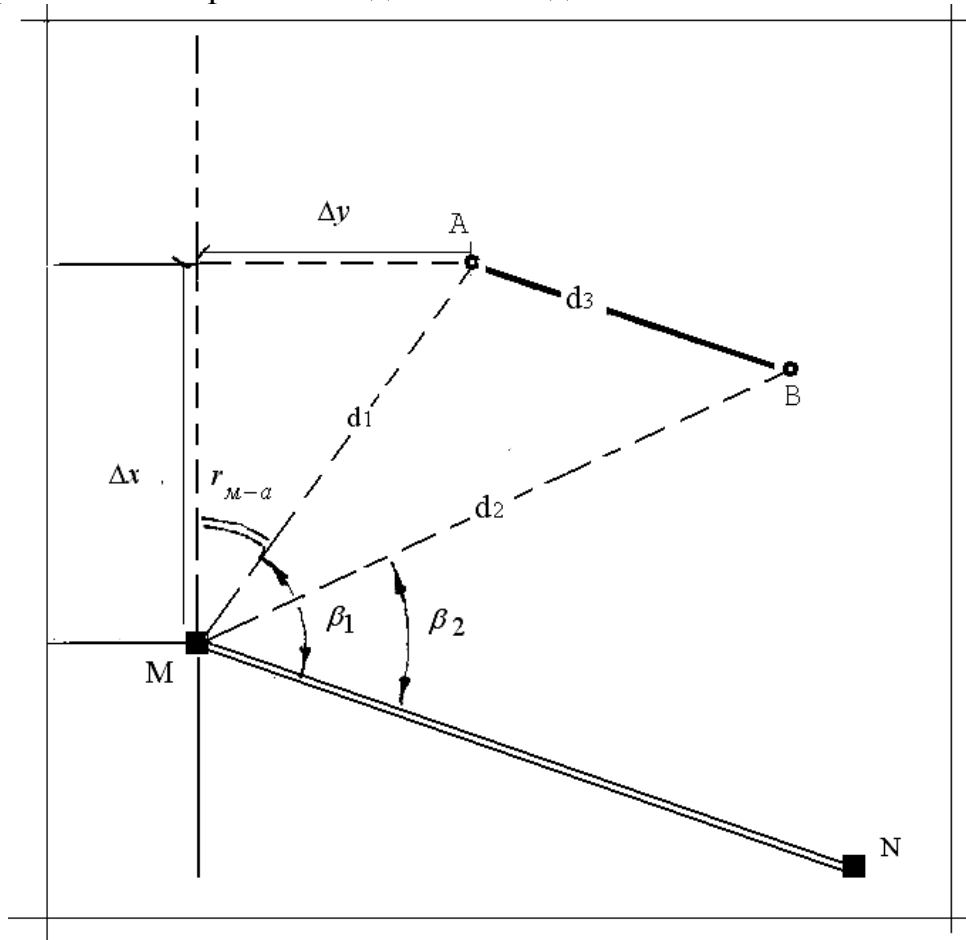


Рисунок 15 – Розмічування способом полярних координат

Для перенесення точки А на місцевість *способом полярних координат* обчислення  $\beta_1$  і  $d_1$  виконують у такій послідовності:

- знаходять різниці координат точок початку і кінця лінії МА

$$\Delta x = x_A - x_M; \quad \Delta y = y_A - y_M. \quad (23)$$

- обчислюють величину румба лінії  $MA$  за формулою

$$\text{tgr}_{MA} = \frac{|y_A - y_M|}{|x_A - x_M|} = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \quad (24)$$

- за знаками прирощень координат визначають назву румба і переходять від нього до дирекційного кута лінії  $MA$ .
- знаходять величину горизонтального кута

$$\beta_1 = \alpha_{MN} - \alpha_{MA}. \quad (25)$$

- обчислюють відстань  $d_1$  за формулами

$$d_1 = \frac{\Delta x}{\cos r_{MA}}; \quad (26)$$

$$d_1 = \frac{\Delta y}{\sin r_{MA}}. \quad (27)$$

Аналогічно можна знайти розмічувальні елементи для точки  $B$  відносно точки основи  $M$ .

### Складання розмічувального креслення

Після обчислення вихідних даних, що визначають положення будівлі або споруди на місцевості, складають креслення у масштабі 1:500 - 1:1000.

Основою цього креслення є топографічний план ділянки місцевості, де будується об'єкт. На цьому кресленні показують пункти розмічувальної основи, запроектована будівля або споруда, значення довжин ліній і кутів, необхідних для визначення на місцевості точок, що належать головним або основним осям. Для роботи в полі з розмічувального креслення складають схему (рис. 15), на якій вказують дані, необхідні для перенесення проекту на місцевість.

**Приклад 1.** Виконати розрахунок розмічувальних елементів для перенесення в натуру проектної точки  $A$  (рис. 14).

Похідні дані: координати точки  $M$  розмічувальної основи:

$$x_M = 5031,25 \text{ м}; y_M = 4814,37 \text{ м};$$

$$\text{координати точки } A: x_A = 5072,50 \text{ м}; y_A = 4843,70 \text{ м};$$

$$\text{дирекційний кут лінії } MN \text{ розмічувальної основи } \alpha_{MN} = 114^\circ 45'.$$

Обчислення проводяться в наступній послідовності.

- знаходять різниці координат точок початку і кінця лінії  $MA$

$$\Delta x = x_A - x_M = 5072,50 - 5031,25 = 41,25 \text{ м};$$

$$\Delta y = y_A - y_M = 4843,70 - 4814,37 = 29,33 \text{ м}.$$



- обчислюють величину румба лінії МА:

$$\operatorname{tgr}_{MA} = \frac{|\Delta y|}{|\Delta x|} = \frac{29,33}{41,25} = 0,71103.$$

- знаходять румб  $r_{MA} = \text{СВ} : 35^{\circ}25'$  і відповідний йому дирекційний кут

$$\alpha_{MA} = 35^{\circ}25'.$$

- знаходять величину горизонтального кута

$$\beta_1 = \alpha_{MN} - \alpha_{MA} = 114^{\circ}45' - 35^{\circ}25' = 79^{\circ}20'.$$

- обчислюють відстань за формулами (4) і (5)

$$d_1 = \frac{\Delta x}{\cos r_{MA}} = \frac{41,25}{\cos 35^{\circ}25'} = \frac{41,25}{0,81496} = 50,62 \text{ м};$$

$$d_1 = \frac{\Delta y}{\sin r_{MA}} = \frac{29,33}{\sin 35^{\circ}25'} = \frac{29,33}{0,57952} = 50,61 \text{ м},$$

Тоді  $d_{1-p} = 50,62 \text{ м}$ .

### 3.2.5 Розмічування споруди способом прямокутних координат

Спосіб прямокутних координат (перпендикулярів) застосовують при наявності будівельної сітки. В якості вихідних даних для розбивки точки цим способом використовуються прямокутні координати пунктів будівельної сітки і точок споруди.

**Приклад 2.** Знайти на місцевості положення точок С і D основної осі споруди від пунктів 3В і 5В будівельної сітки (рис. 16).

Похідні дані : координати точок С і D в системі будівельної сітки відповідно дорівнюють:

$$B_C = 4B + 25,00; B_D = 4B + 75,00.$$

Послідовність робіт :

- за координатами пунктів 3В і 5В і точок С і D обчислюють відстані  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  и  $d_4$ :

$$d_1 = 425,00 - 400 = 25,00 \text{ м}, d_3 = 500 - 475,00 = 25,00 \text{ м},$$

$$d_2 = 332,50 - 300 = 32,50 \text{ м}, d_4 = 332,50 - 300 = 32,50 \text{ м}.$$

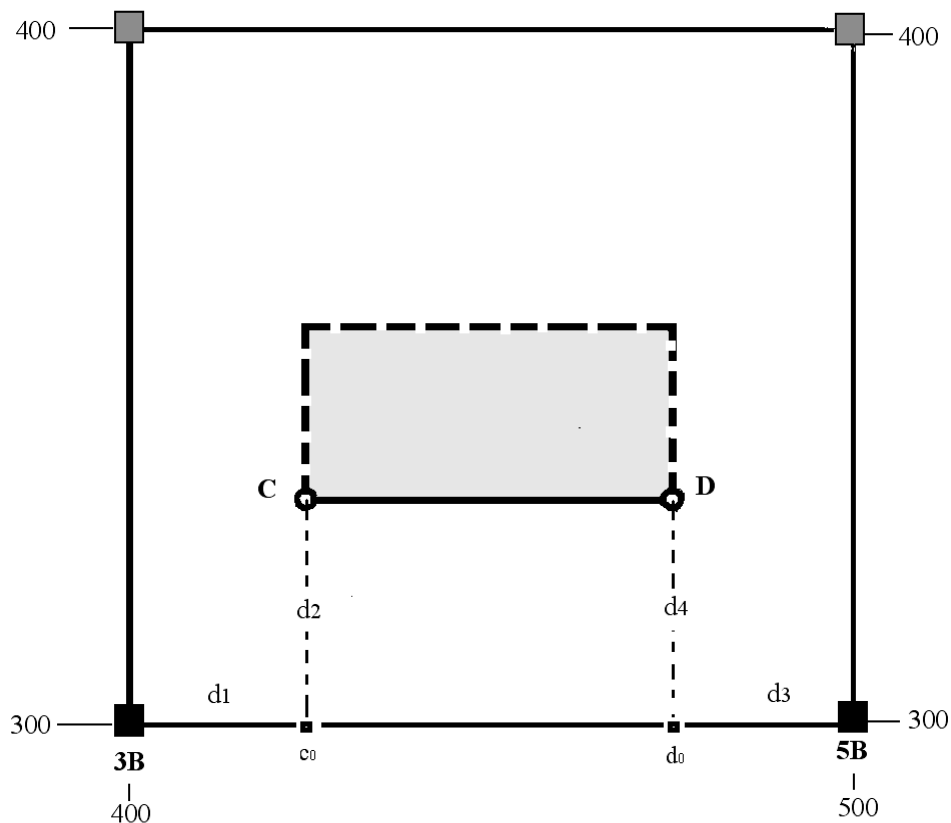


Рисунок 16 – Розмічування точок способом перпендикулярів

- від пунктів 3В і В відкладають відрізки  $d_1$  і  $d_3$ .
  - в отриманих точках за допомогою теодоліта будують прямі кути і за перпендикулярам відкладають відрізки  $d_2, d_4$ .
- Точність відкладення кутів і ліній вибирають за характеристикою споруди.

При необхідності середня квадратична похибка винесення на місцевість. З точки може бути попередньо вчислена за формулою:

$$m = \sqrt{m_{d_1}^2 + m_{d_2}^2 + \left(\frac{m_\beta}{\rho''}\right)^2 d_2^2}, \quad (28)$$

де  $m_{d_1}$  і  $m_{d_2}$  – середні квадратичні похибки відкладення відстаней  $d_1$  и  $d_2$ ;

$m_\beta$  – середня квадратична похибка побудови прямого кута.

### 3.3 Розрахунок необхідної точності побудови фізичних величин

Розрахунок точності побудови фізичних величин, необхідної для одержання будівельного розміру  $P_1P_2$  між осями споруди з необхідною точністю ведуть на підставі загальної формули середньої квадратичної похибки функції результатів з урахуванням технології побудови фізичних величин.

Середню квадратичну похибку розміру між осями обчислюють за будівельними допусками відповідно до стандартів системи забезпечення геометричної точності в будівництві.

Для наближених розрахунків необхідно використати залежність

$$m_{P_1P_2}^2 = m_{P_1}^2 + m_{P_2}^2 + m_{ST}^2, \quad (29)$$

де  $m_{P_1}$  і  $m_{P_2}$  – середні квадратичні похибки положення проектних точок  $P_1$  і  $P_2$ , побудованих з вихідних точок  $S, T$  відповідно;

Можна вважати, що  $m_{P_1} = m_{P_2}$ ;

$m_{ST}$  – середня квадратична похибка довжини  $ST$  вихідної лінії.

#### Приклад

Розмічування точок  $P_1, P_2$  будівлі виконано полярним способом двох вихідних точок  $S, T$  (рис. 17).

При цьому  $m_{P_1P_2} = \pm 2$  см;  $d_{SP} = d_{TP} = 70$  м,

$d_{ST} = 200$  м,  $d_{SP} : d_{ST} = 1 : 20000$ .

Визначити необхідну точність побудови полярних кутів і полярних відстаней.

#### Розв'язання.

- абсолютна похибка вихідної лінії  $ST$ .

$m_{ST} = d_{ST}(1:M) = 200:20000 = \pm 0,01$  м.

- приймаючи у вищенаведеній залежності  $m_{P_1} = m_{P_2}$  :

$$m_{P_1P_2}^2 = 2m_P^2 + m_{ST}^2, \quad (30)$$

## Звїдки :

$$m_P = \sqrt{\frac{m_{P_1 P_2} - m_{ST}^2}{2}},_{\text{M}} \quad (31)$$

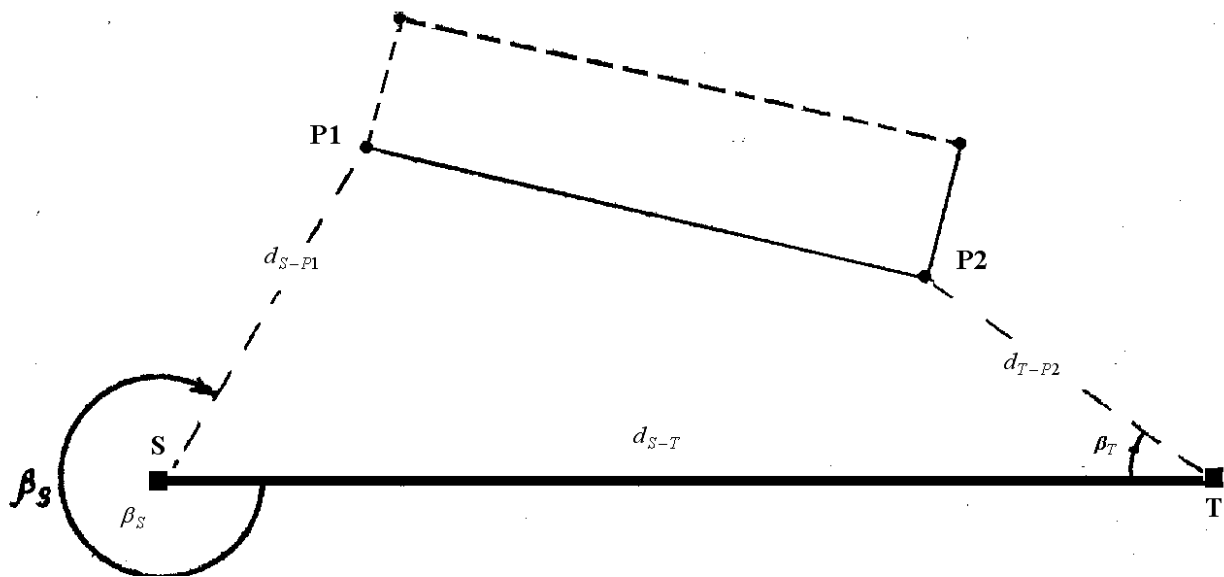


Рисунок 17 – Розташування проектних і вихідних даних

- підставляючи чисельні значення:

$$m_P = \sqrt{\frac{2^2 - 1^2}{2}} = \pm 1,22 \text{ см.}$$

- приймаючи принцип рівного впливу похибки побудови кута і похибки побудови довжини у формулі похибки положення проектної точки для способу полярних координат, тобто :

$$\frac{m\beta}{\rho}d = m_d,$$

одержимо

$$m_P = \sqrt{2m_d^2}.$$

При  $m_P = 1.22\sqrt{2} = \pm 0,86\text{см}$ .

або у відносній мірі:

$$\frac{m_d}{d} = \frac{0.86 \text{ cm}}{7000 \text{ cm}} = \frac{1}{8100}.$$

### Розв'язання.

Абсолютна похибка вихідної лінії  $ST$ .

$$m_{ST} = d_{ST}(1:M) = 200:20000 = \pm 0,01 \text{ м.}$$

Приймаючи у вищенаведеній залежності  $m_{P_1} = m_{P_2}$  :

$$m_{P_1P_2} = 2m_P^2 + m_{ST}^2,$$

звідки:

$$m_P = \sqrt{\frac{m_{P_1P_2} - m_{ST}^2}{2}},$$

На підставі прийнятого принципу рівного впливу

$$\frac{m_\beta}{\rho} = \frac{1}{8100},$$

звідки  $m_\beta = \frac{1}{8100} \cdot 206000'' = \pm 25''$ .

На підставі розрахованої точності побудови кута і довжини, необхідної для забезпечення будівництва, треба вибрати засоби вимірювання і відповідну технологію побудови фізичних величин.

## **3.4 Розмічування заокруглень в плані**

### **3.4.1 Розрахунок елементів кругової кривої.**

На трасах автомобільних доріг та залізничних колій в кутах повороту лінії траси в плані вписують кругові криві (рис. 18), а в профілі – вертикальні криві радіусами  $R$ .

Кругова крива є дугою кола *радіусом*  $R$ .

Кут  $\beta$  вимірюють на карті або безпосередньо на місцевості.

Кут повороту траси  $\phi$  обчислюють за формулою:

- при повороті вправо:

$$\phi_{np} = 180^\circ - \beta; \quad (32)$$

- при повороті вліво

$$\phi_l = \beta - 180^\circ. \quad (33)$$

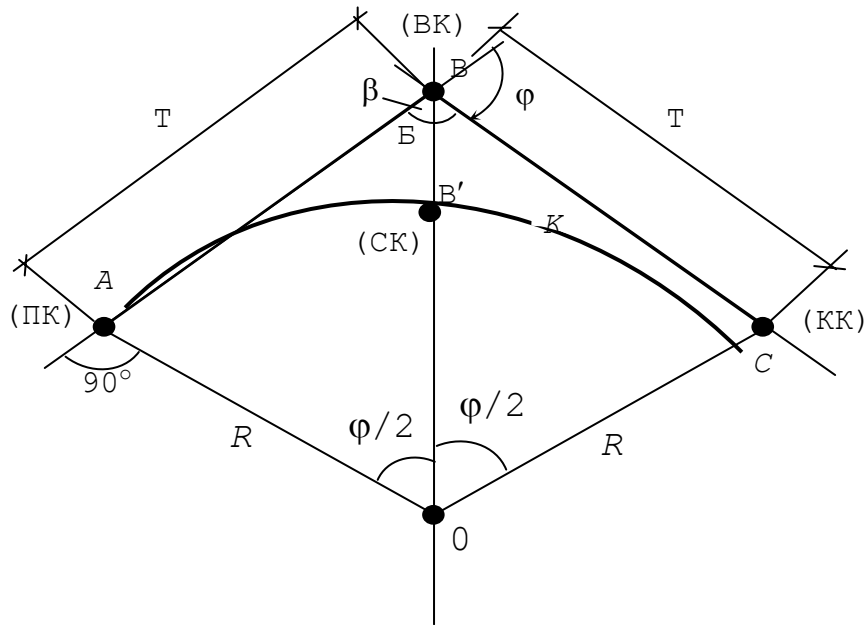


Рисунок 18 – Елементи кругової кривої

Елементи кругової кривої Т, К, Б, Д обчислюють за формулами:

- тангенс 
$$T = R \operatorname{tg} \frac{\phi}{2}; \quad (34)$$

- крива 
$$K = \frac{\pi R \phi^\circ}{180^\circ}; \quad (35)$$

- бісектриса

$$B = R \left( \sec \frac{\phi}{2} - 1 \right) = 2R \frac{\sin \frac{\phi}{4}}{\cos \frac{\phi}{2}}; \quad (36)$$

- домір 
$$D = 2T - K. \quad (37)$$

Домір є різницею довжини траси між ламаною лінією  $ABC$  і довжиною кривої лінії  $AB'C$ .

Точка  $A$  визначає початок кривої (ПК);

точка  $B$  – вершина кута повороту траси (БК);

$C$  – кінець кривої (КК);

$B'$  - середину кривої (СК).

### 3.5 Способи розмічування осей криволінійних споруд

3.5.1 Детальне розмічування кругової кривої способом прямокутних координат

Детальне розмічування точок осей колових кривих виконується способами: прямокутних координат, полярних координат, продовжених хорд та інші.

Розмічування кривих виконується від початку (ПК) та кінця кривої (КК) до середини кривої (СК). Це дозволяє підвищувати точність розмічування осі кругової кривої.

#### Приклад

Потрібно на місцевості виконати детальну розбивку кругової кривої. Відомо місцеположення вершини кута траси, значення кута повороту траси  $\theta = 19^{\circ}19'$ , крок розбивки кривої ( $l = 5$  м) та радіус кругової кривої ( $R = 100$ м). Елементи кругової кривої (рис. 19) – тангенс  $T$ , довжину кривої  $K$ , домір  $D$  та бісектрису  $B$ , м, обчислюють за формулами: (34) - (37). Обчислені значення елементів кругової кривої наведені у таблиці 2.

За вісь абсцис  $X$  приймають тангенс, а за вісь ординат  $Y$  – радіус кривої.

Початок координат збігається з початком кривої ПК.

Таблиця 2 – Обчислені значення елементів кругової кривої:

$T$ , м	$K$ , м	$D$ , м	$B$ , м
17,02	33,70	0,34	1,44

Координати кругової кривої, м, обчислюють задаючись кутом  $\theta$ , що відповідає кроку кривої  $l$ :

$$X_1 = R \sin \varphi; \dots; X_n = R \sin n\varphi; \quad (38)$$

$$Y_1 = R(1 - \cos \varphi); \dots; Y_n = R(1 - \cos n\varphi), \quad (39)$$

де  $n$  – порядковий номер точки кривої;

$$\varphi = 180^{\circ}l/R\pi = 180^{\circ} \cdot 5/3,14 \cdot 100 = 2^{\circ},27.$$

Крок кривої, залежно від її довжини, приймають 5 або 10 м.

Результати розрахунків координат кругової кривої наведені в таблиці 3.

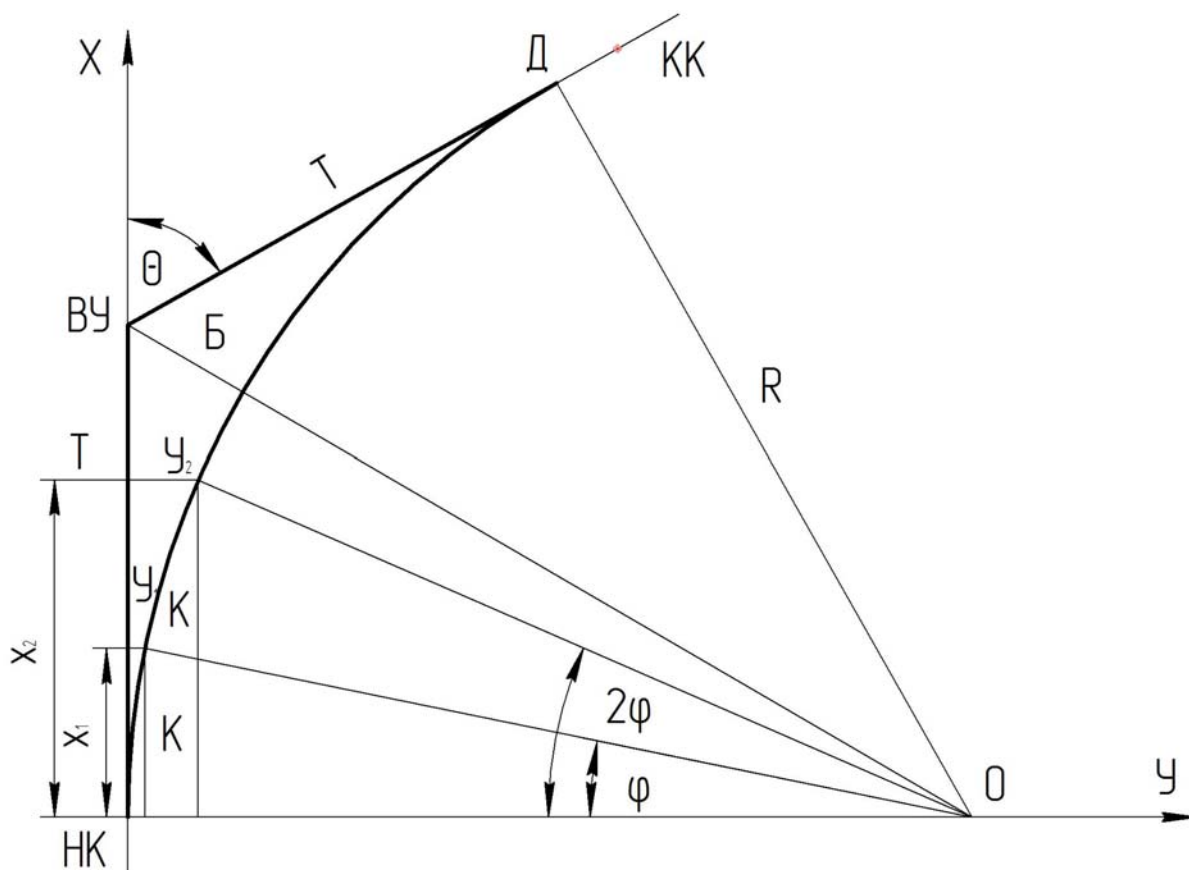


Рисунок 19 – Детальне розмічування кругової кривої

Таблиця 3 – Координати точок кругової кривої

Крок кривої	Кут $n \varphi$	$\sin n \varphi$	$1 - \cos n \varphi$	Координати, м	
				X	Y
5	2,87	0,05	0,00125	5,00	0,12
10	5,74	0,10	0,00501	10,00	0,50
15	8,61	0,1497	0,01127	14,97	1,13
20	11,48	0,1990	0,02001	19,90	2,00
25	14,35	0,2478	0,0312	24,78	3,12
30	17,22	0,2960	0,0448	29,60	4,48

Після обчислення координат кругової кривої (табл. 4), встановлюють теодоліт на початку кривої і, провісивши лінію тангенсів, відкладають на ній абсциси точок  $X_1$  ( $X_2, X_3, \dots, X_n$ ). З цих точок послідовно за допомогою екера або теодоліта будують перпендикуляри, на яких відкладають, відповідно, ординати  $Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_n$ . На ординатах фіксують точки кривої через інтервали, що дорівнюють кроку кривої  $l$ .



## 4. ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ РОЗМІЧУВАННЯ ЗА ВИСОТОЮ

### 4.1 Геометричне нівелювання по заданому напрямку і побудова профілю земної поверхні

**Завдання :** по заданому напрямку визначити висоти точок та відстані між ними. Для визначення висот застосувати геометричне нівелювання; відстані виміряти нитковим віддалеміром

Похідні дані: ; Абсолютна висота точки 1:  $H_1 = 107.106\text{м}$

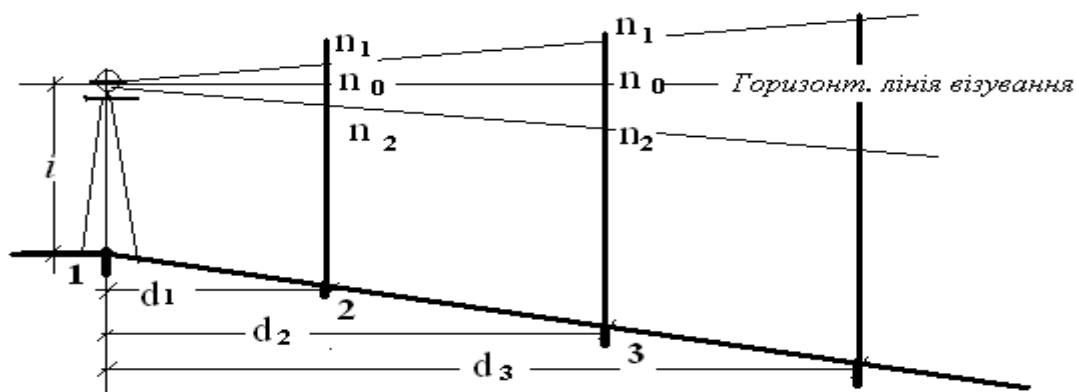


Рисунок 20- Геометричне нівелювання по заданому напрямку

#### Приклад

Послідовність виконання:

- виміряти висоту приладу:  $i = 1.564$
- обчислити горизонт приладу  $ГП = H_1 + i$ ;  
$$ГП = H_1 + i = 107.106 + 1.564 = 108.670$$
- послідовно встановити нівелірну рейку на точках 2, 3... та взяти відліки на рейці за віддалемірними нитками:  $n_1$  (по верхній) та  $n_2$  (по нижній) і записати у колонки 3,4 таблиці 4.
- взяти відліки на рейці по середній нитці  $c_j$ : 1564, 1724, 1815 ...
- обчислити відстані до точок:  $d_j = k(n_2 - n_1) = 100(n_2 - n_1)$ ;  
$$d_1 = 100(1615 - 1513) = 10.2\text{м}$$
- обчислити горизонт приладу  $ГП$ :  
$$ГП = H_1 + i = 107.106 + 1.564 = 108.670$$
- обчислити висоти точок за напрямком  $H_j = ГП - c_j$

Таблиця 4- Результати геометричного нівелювання по заданому напрямку

№ ст.	№ т-ки	$n_1$	$n_2$	$dj$	$Cj$	Горизонт приладу ГП	Висота точки Н
1	2	3	4	5	6	7	8
	1			0	1564		107,106
	2	1513	1615	10,2	1724		107,496
	3	1461	1664	20,3	1815		107,855
<b>1</b>	4	1414	1719	30,5	1987	108.670	107,683
	5	1362	1765	40,3	2235		107,435
	6	1317	1821	50,4	2385		107,285
	7	1234	1924	69,0	2514		107,155
	8	1134	1998	86,4	2467		107,203

$$H_2 = 108.670 - 1.274 = 107.496$$

За результатами вимірювань, наведених у таблиці 4. будують профіль лінії по заданому напрямку (рис. 21)

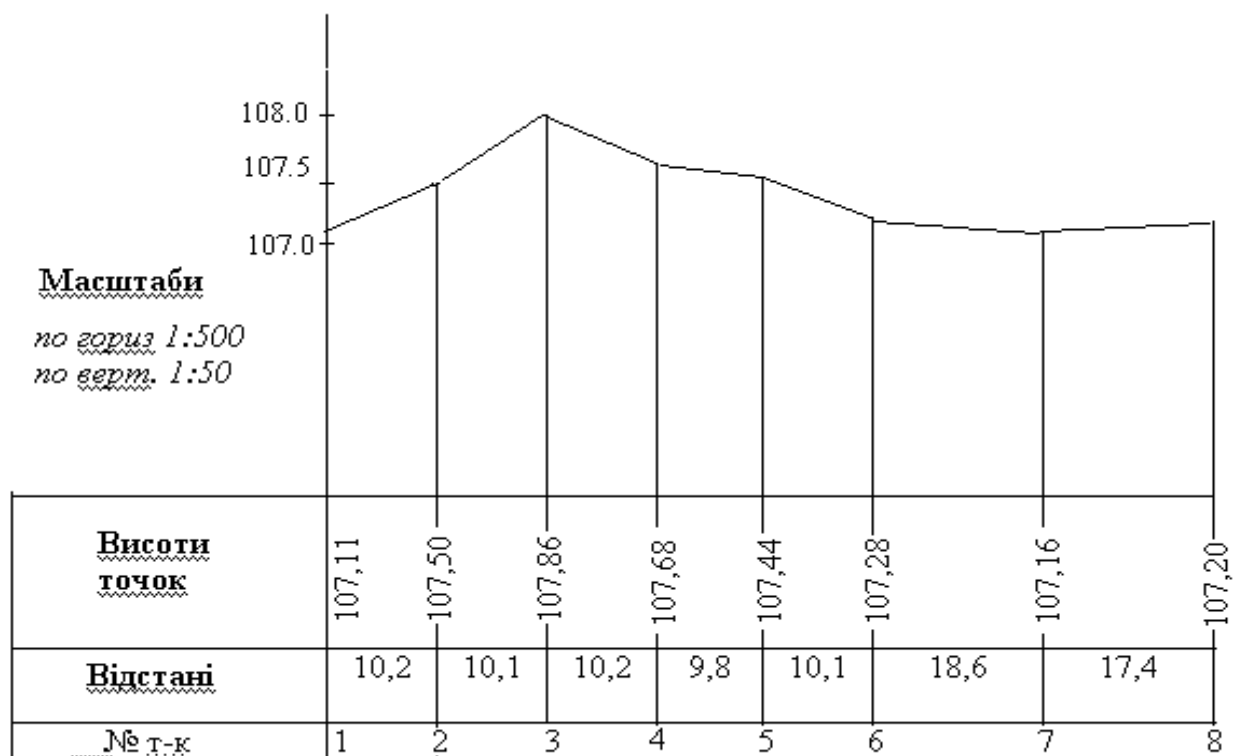


Рисунок 21 – Профіль по заданому напрямку

## 4.2 Побудова лінії заданого ухилу

При будівництві лінійних споруд доріг, каналів та інших необхідно детально розмічувати лінію проектного ухилу.

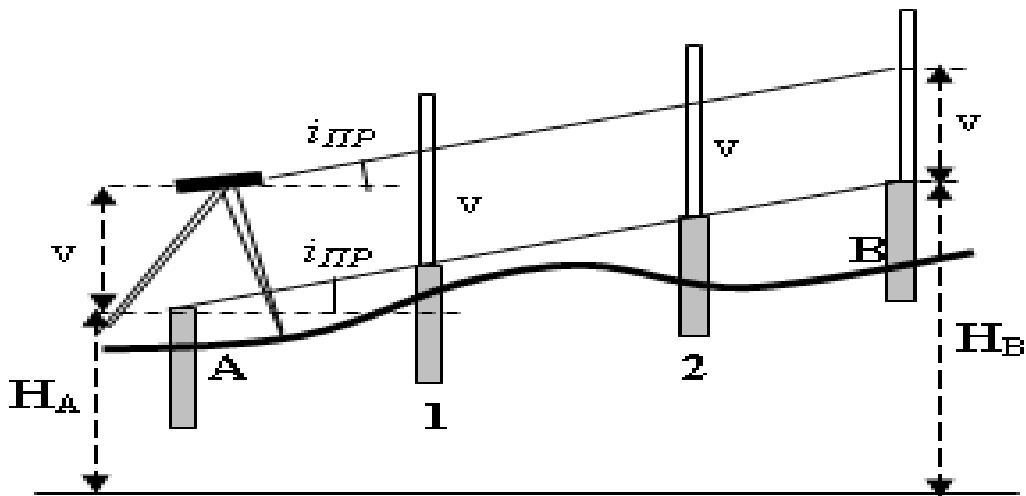


Рисунок 22 – Схема розмічування проектного ухилу способом вперед

### Спосіб 1

*Послідовність виконання:*

- над точкою А встановлюють нівелір, маючи два підйомних гвинта паралельно створу лінії (рис.22);
- вимірюють висоту нівеліра  $v$  від проектної відмітки до центру окуляра.
- візують на рейку, встановлену на проектну відмітку точки Ст.
- діючи підйомними гвинтами, нахиляють трубу нівеліра доти, поки відлік по рейці буде дорівнювати  $v$ .

В результаті візирна вісь труби буде паралельна проектного ухилу іпр.

У заданих точках 1 і 2 і т. д. Забивають кілки так, щоб відліки по рейках, встановлених на них, були рівні  $v$ .

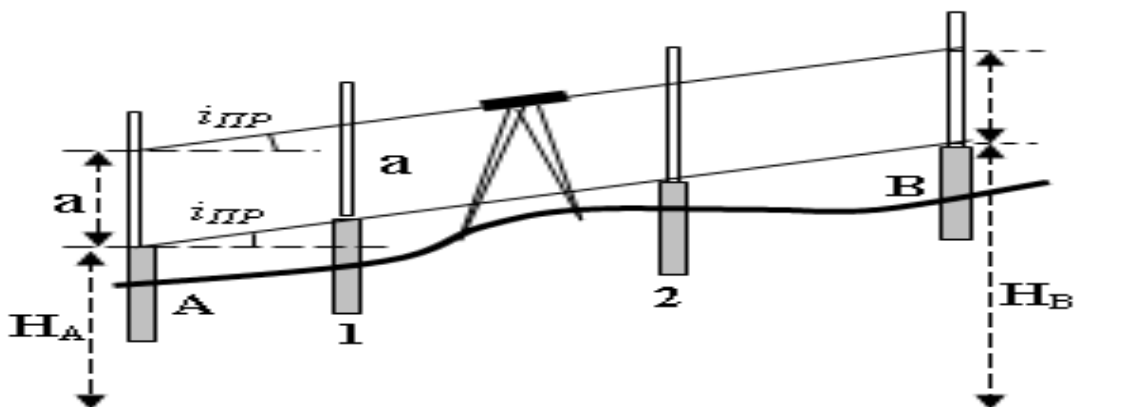


Рисунок 23 – Схема розмічування проектного ухилу способом з середини

При великих відстанях АВ детальну розмічування можна виконати нівеліром способом з середини (рис. 23).

#### Спосіб 2

*Послідовність виконання :*

- нівелір встановлюють у створі лінії, розташовуючи підйомні гвинти паралельно створу і діючи ними нахиляють трубу так, щоб відліки по рейках, установленим у точках А і В, були однаковими (а).
- якщо дані проектна відмітка точки А  $H_A$ , проектний ухил  $i_{пр}$ , відстань  $AB = d$ , то обчислюють проектну відмітку точки В:

$$H_B = H_A + i_{пр} d.$$

- далі виконують розмічування попереднім способом.

При використанні горизонтального променя візування обчислюють проектні відліки по рейках на точках, які розмічують через задану відстань.

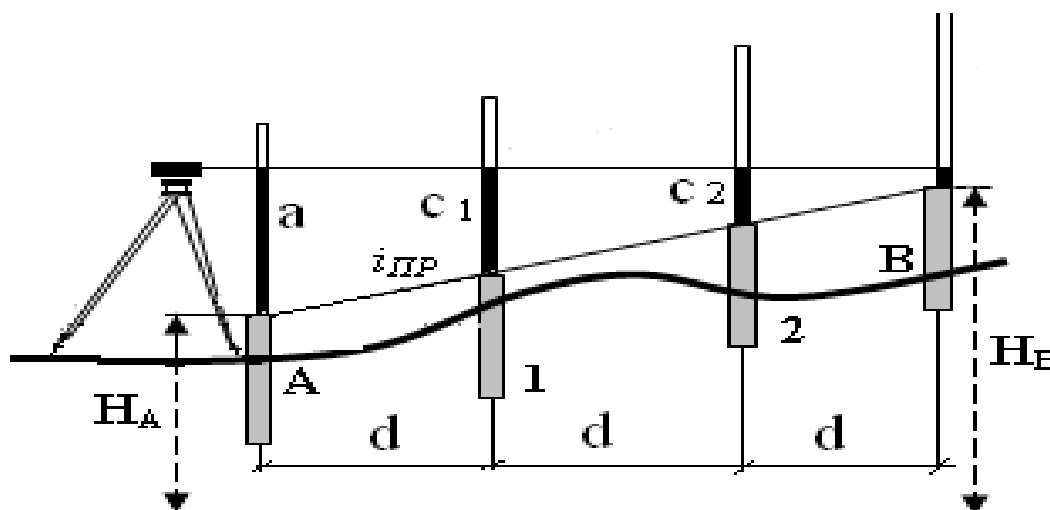


Рисунок 24 – Схема розмічування проектного ухилу горизонтальним променем

Похідні дані:  $i = 0.020$ ;  $d = 6$  м.

Виміряно:  $a_A = 0497$ ;

$$a_1 = a_A - id = 0497 - 0.02 \cdot 6 = 0467 ;$$

$$a_2 = a_A - 2id = 0497 - 0.02 \cdot 6 \cdot 2 = 0455 ;$$

$$a_3 = a_A - 3id = 0497 - 0.02 \cdot 6 \cdot 3 = 0443 ;$$

$$a_4 = a_A - 4id = 0497 - 0.02 \cdot 6 \cdot 4 = 0431$$

### 4.3 Нівелювання поверхні по квадратах та побудова топографічного плану

Нівелювання поверхні за квадратами – це один із видів топографічного знімання місцевості, яке застосовують при будівництві коли необхідно отримати топографічний план ділянки з високою точністю.

Щоб провести нівелювання за квадратами земельну ділянку розмічають на квадрати з довжиною сторін 5, 10, 20, 50 м. На практиці вибрана земельна ділянка розміром 30 м х 40 м, із сторонами квадратів 10 м.

На стороні 1-4 за допомогою теодоліту і мірної стрічки розмічають сітку квадратів із прийнятою довжиною сторони. Вершини квадратів на місцевості фіксують за допомогою дерев'яних кілків.

Висоту вихідної точки  $R_p$  визначено геометричним нівелюванням від точки знімальної основи.

#### 4.3.1 Нівелювання поверхні по квадратах з одної станції

Нівелір встановлюють приблизно посередині земельної ділянки з таким розрахунком, щоб було видно всі вершини квадратів (рис. 25).

На станції визначають горизонт приладу. Для цього приводять нівелір в робоче положення, нівелірну рейку встановлюють на репер та беруть відлік за чорною стороною –  $a$ .

Горизонт приладу обчислюють за формулою:

$$ГП = H_{Rp} + a, \quad (40)$$

де  $H_{Rp}$  – висота репера

Після цього нівелірну рейку по черзі встановлюють на кілок в кожній вершині квадратів і беруть відліки за чорним боком рейки.

Висоти вершин квадратів обчислюють за формулою

$$H_c = ГП - c, \quad (41)$$

де  $c$  – відлік за чорним боком рейки, встановленій у відповідній вершині квадратів.

При проведенні робіт викреслюють журнал-схему нівелювання за квадратами, біля кожної вершини квадрата підписують зняті відліки, а під ними обчислені висоти (рис. 25).

На рисунку 25 виписані  $a_c$ , – відліки за чорною стороною рейки, встановленої на репері, м.

Горизонт приладу  $ГП = 150,947 + 2,069 = 153,016$  м;

Висоти вершин квадратів:  $H_1 = 153.016 - 2.379 = 150,636$

$$H_2 = 153.016 - 2.226 = 150,790; \quad H_3 = \dots$$

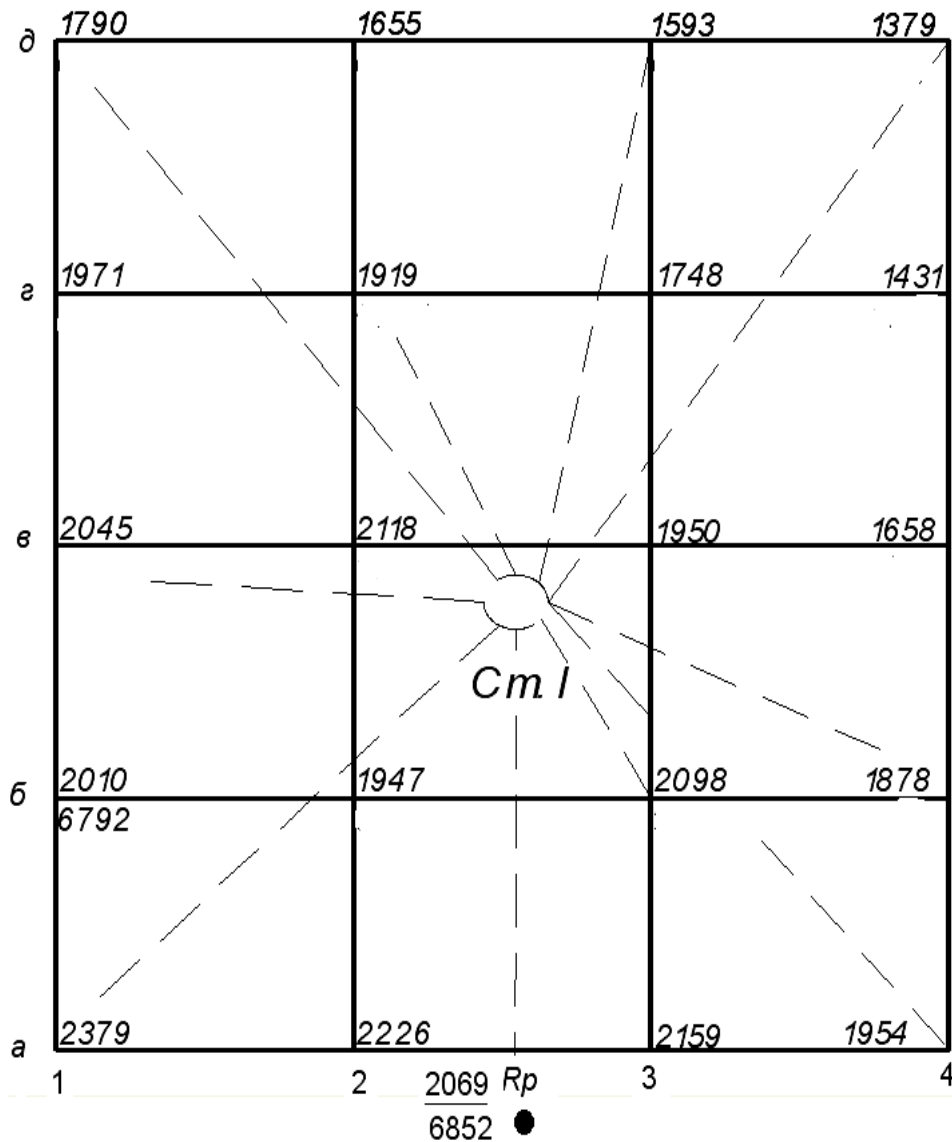


Рисунок 25 – Схема нівелювання поверхні по квадратах зі стороною 20м з однієї станції

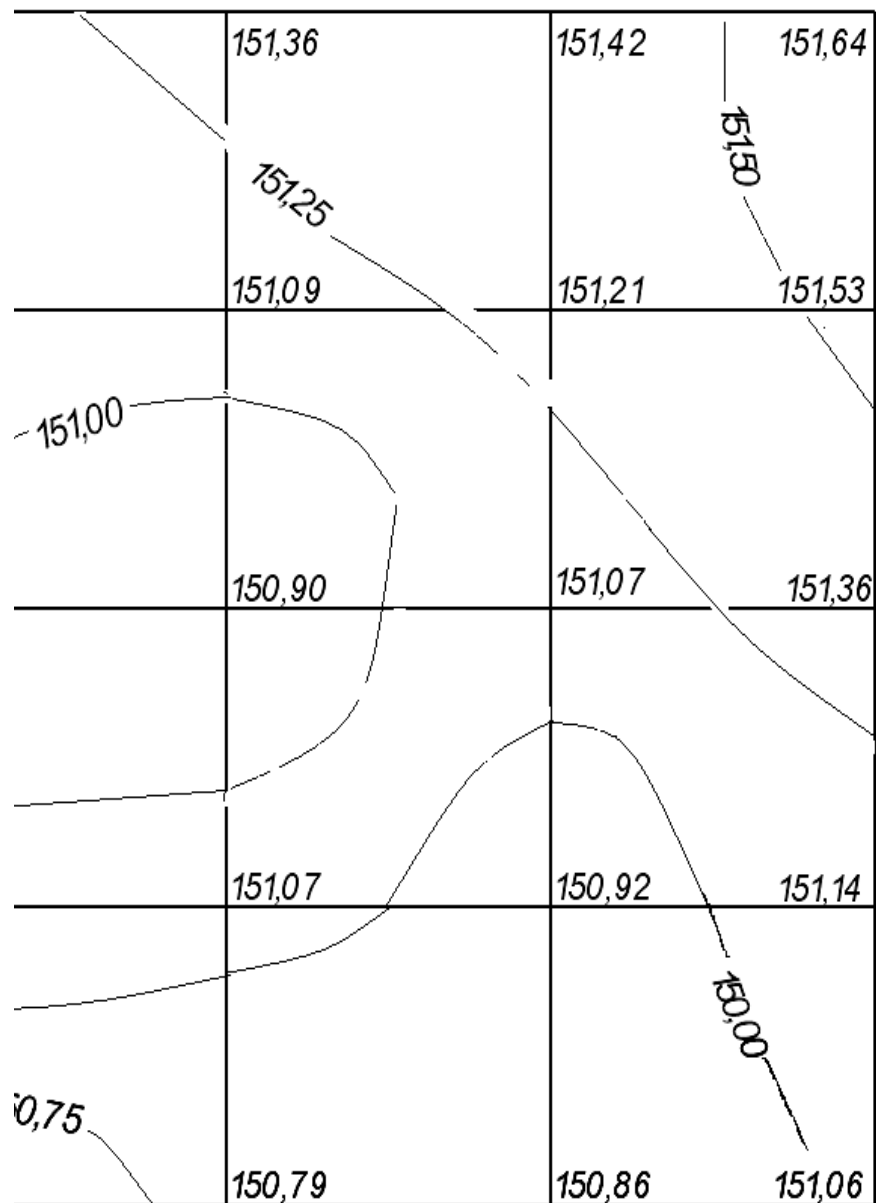
За результатами визначення відміток вершин квадратів складають топографічний план будівельного майданчика.

#### Складання топографічного плану

Побудову плану нівелювання поверхні за квадратами виконують у такій послідовності:

- будують сітку квадратів відповідного розміру на ватмані.
- біля вершин квадратів підписують їх висоти заокруглюючи їх до 0,01 м.
- графічним інтерполюванням визначають положення горизонталей горизонталі із заданою висотою перерізу рельєфу (0,5 м). План зображено на рисунку 26.

## ПЛАН ДІЛЯНКИ



**1:500**

Суцільні горизонталі проведені через 0,25 м

Рисунок 26 – План ділянки

### 4.3.2 Нівелювання поверхні по квадратах з декількох станцій

У випадках, коли перевищення між точками в межах ділянки не дозволяє виконати нівелювання з однієї станції, утворюють декілька станцій. Такі вимірювання оброблюються як замкнутий хід геометричного нівелювання.

**Похідні дані:** Виконано нівелювання сітки квадратів з 4-х станцій. Результати нівелювання по зв'язуючі точках (нівелірний хід) записані у журналі геометричного нівелювання (табл. 5). Відліки по чорній стороні рейки на вершинах квадратів виписані на схемі (рис. 26).

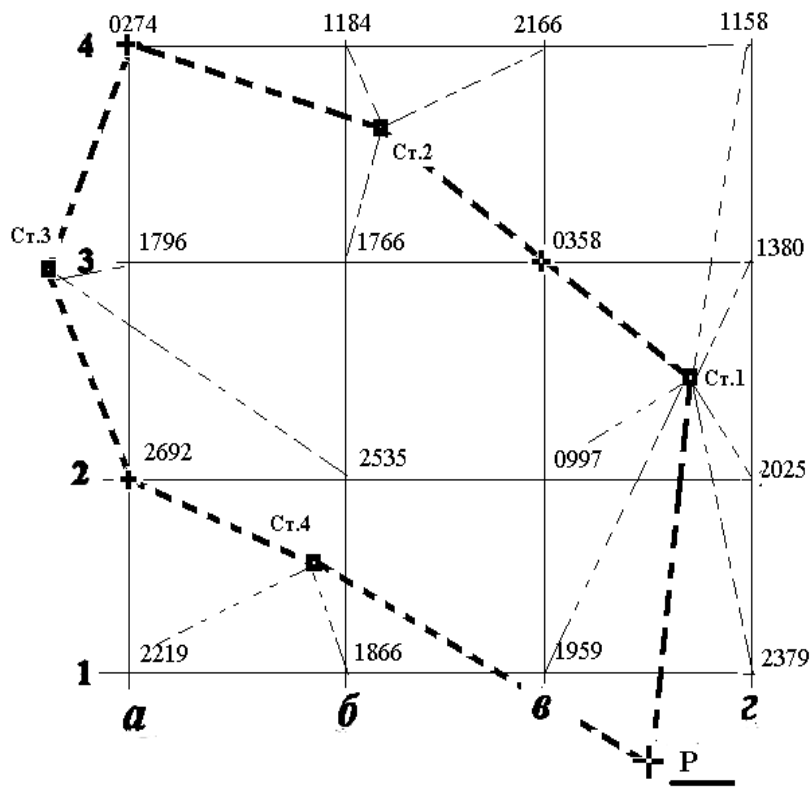


Рисунок 27 – Схема нівелювання вершин квадратів. Сторона квадрату = 30м

Послідовність камеральних робіт відповідає порядку обробки замкнутого нівелірного ходу:

1. Обчислити перевищення на станціях з контролем
2. Обчислити середні перевищення
3. Обчислити фактичну нев'язку перевищень по ходу та допустиму нев'язку
4. Визначити допустимість нев'язки
5. Обчислити поправки у перевищення з контролем
6. Обчислити виправлені перевищення з контролем
7. Визначити висоти зв'язуючі точок
8. Визначити горизонт приладу на кожній станції
9. Обчислити висоти вершин квадратів



Таблиця 5 – Журнал нівелювання зв'язуючих точок ходу

№ ст	№ зв'яз т-к	Відліки		Перевищення				ГП	Н абсол
		задній	передній	- +	h' h''	середнє			
						+	-		
	Р	2480					+5		88,200
1		7162		+	2122	+	2122	90.680	
			0358	+	2121		2127		
	ЗВ		5041						90.327
	ЗВ	2328					+5		90.327
2		7011		+	2054	+	2054	92.655	
			0274	+	2053		2059		
	4а		4958						92.386
	4а	0420					+5		92.386
3		5101		-	2272	-	2273	92,806	
			2692	-	2274		2268		
	2а		7375						90.118
	2а	0936					+4		90.118
4		5619		-	1922	-	1922	91.054	
				-	1923		1918		
	Р		2858						88,200
			7542						
						Σ	- 0019		

$$fh_{\phi} = -0,019; \quad fh_{\text{дон}} = \pm 10\sqrt{n} = 0,020; \quad fh_{\phi} < fh_{\text{дон}}$$

### Приклад

Початкова точка ходу № Р    Н<sub>р</sub> = 88.220

3. Обчислення висот зв'язуючих точок:  $H_i = H_{i-1} + h_{\text{вип}}$ .

$$H_{3\text{в}} = H_{\text{р}} + h_1 = 88.200 + 2.127 = 90.327$$

4. Обчислення горизонту приладу ГП на кожній станції:  $\text{ГП}_j = H_i + a_i$

$$\text{ГП}_1 = 88,200 + 2480 = 90,680; \quad \text{ГП}_2 = 90,327 + 2328 = 92,655;$$

$$\text{ГП}_3 = 92,386 + 0420 = 92,806; \quad \text{ГП}_4 = 90,118 + 0936 = 91,054;$$

5. Обчислення висот вершин квадратів  $H_n = \Gamma\Pi_j - h_n$ ,

де  $\Gamma\Pi_j$  – горизонт приладу на  $j$  – й станції

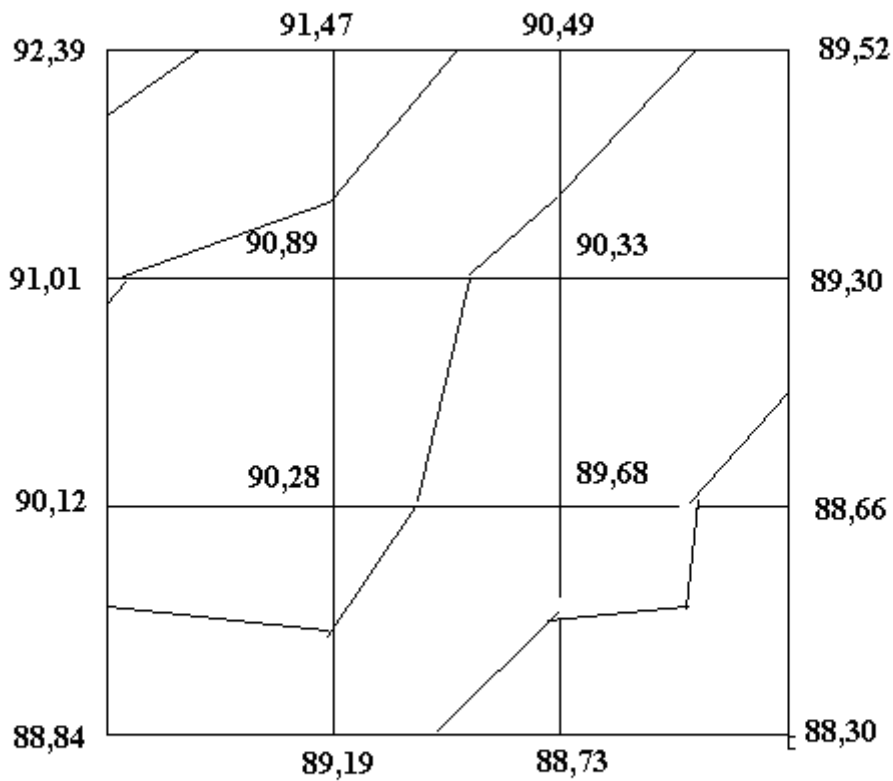
$$H_{12} = \Gamma\Pi_1 - h_{12} = 90.680 - 2.379 = 88.301$$

$$H_{42} = \Gamma\Pi_1 - h_{42} = 90.680 - 1.158 = 89.522$$

$$H_{46} = \Gamma\Pi_2 - h_{46} = 92,655 - 1,184 = 91,471$$

$$H_{1a} = \Gamma\Pi_4 - h_{1a} = 91,054 - 2,219 = 88,835$$

### ПЛАН



**1:1000**

*Суцільні горизонталі проведені через 1 м*

## РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ

В разі проведення лабораторних робіт, похідні дані, необхідні для вирішення задач, студенти отримують виконуючи геодезичні вимірювання у лабораторії по спрощеній схемі. При цьому навчальна група поділяється на бригади у складі 2-3 чол. Частина задач студенти розв'язують індивідуально, приймаючи похідні дані відповідно свого варіанту.

При виконанні практичних робіт після розгляду прикладу студенти розв'язують задачі індивідуально, приймаючи похідні дані відповідно свого варіанту.

Під час навчальної практики похідні дані, необхідні для вирішення задач, студенти отримують виконуючи геодезичні вимірювання на місцевості в умовах максимально наближених до виробничих і в розширеному обсязі. При цьому навчальна група поділяється на бригади у складі 6-7 чол.

Студенти приступають до виконання робіт після вивчення відповідного розділу теоретичного курсу. До виконання лабораторних робіт студенти повинні чітко засвоїти теоретичні основи процесів та визначити порядок проведення роботи.

Для кожної лабораторної роботи бажано мати малюнок зі схемою вимірювань та інструкцію щодо її проведення.

Всі записи в процесі проведення робіт, підрахунки, результати вимірювань, заносять в спеціальні відомості або в спеціальний зошит. Після виконання всіх лабораторних робіт кожен студент складає залік.

Цільове призначення лабораторних і практичних робіт – закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях і в процесі самостійного опрацювання навчального матеріалу; навчання навичкам виконання геодезичних вимірювальних робіт.

Перед початком кожного лабораторного завдання студенти повинні чітко засвоїти його мету, знати теоретичні основи, процесів і визначити порядок проведення роботи.

При виконанні геодезичних вимірювань потрібне повне розуміння студентами сенсу кожної операції, кожної дії, і їх можливих результатів.

Під час виконання геодезичних вимірювань необхідно дотримуватись загальних правил роботи і вимог безпеки життєдіяльності.

## Список джерел

1. Войтенко С. П. Інженерна геодезія: підручник / С. П. Войтенко. – Київ: Знання, 2012. – 574 с.
2. Перфилов В. Ф. Геодезия: Учеб. для вузов / В. Ф. Перфилов, Р. Н. Скогорева, Н. В. Усова. – 2-е изд, перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2006. – 355 с.
3. Инженерная геодезия. Метод. указания и контр. задания для студентов-заочников / С. Ф. Мовчан, Н. В. Ангелова, Я. А. Сокольский, Е. Г. Якушенкова. – М.: Высш. шк., 1978. – 53 с.
4. Курс инженерной геодезии: Учебник для вузов / Под ред. В. Е. Новака – М.: Недра, 1989.
5. Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500. – К.: Міністерство екології та природних ресурсів України, 2001.
6. ДСТУ 2756-94. Геодезія. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994.
7. ДСТУ 2757-94. Картографія. Терміни та визначення. К.: Держстандарт України, 1994.

*Навчальне видання*

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

для виконання лабораторних робіт  
з навчальних дисциплін

### **ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ (ЗАГАЛЬНИЙ КУРС), ГЕОДЕЗІЯ**

*(для студентів 1 курсу денної і заочної форм навчання напряму підготовки 6.060101 – Будівництво, напряму підготовки 6.060103 – Гідротехніка (водні ресурси) та для студентів 2 курсу денної і 3 курсу заочної форм навчання напряму підготовки 6.080101 – Геодезія, картографія та землеустрій)*

Укладач: **ПЕНЬКОВ** Володимир Олексійович

Відповідальний за випуск: *К. А. Мамонов*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2014, поз. 51 М

---

Підп. до друку 16. 04. 2015  
Друк на різнографі.  
Зам. №

Формат 60x84/16  
Ум. друк. арк. 2,6  
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:  
Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції, 12, Харків, 61002  
Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:  
ДК № 4705 від 28.03.2014 р.